



**TUGAS AKHIR - TF141581**

**ANALISIS RESPONS SIMPANGAN *DRILL PIPE*  
PADA PENGEBORAN BAWAH AIR  
DALAM KONDISI *SPUDDING IN* DAN *DRILLING*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**DERY HERWANDINATA**  
NRP. 2414 106 004

Dosen Pembimbing  
Ir. Yerri Susatio, M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**





***FINAL PROJECT - TF141581***

***ANALYSIS OF  
DRILL PIPE DISPLACEMENT RESPONSE  
TO UNDER WATER DRILLING  
IN SPUDDING IN AND DRILLING CONDITION  
USING FINITE ELEMENT METHOD***

***DERY HERWANDINATA  
NRP. 2414 106 004***

***Advisor Lecturer  
Ir. Yerri Susatio, M.T.***

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017***





## LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS RESPONS SIMPANGAN *DRILL PIPE*  
PADA PENGEBORAN BAWAH AIR  
DALAM KONDISI *SPUDDING IN* DAN *DRILLING*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

### TUGAS AKHIR

Oleh:

**Dery Herwandinata**  
**NRP. 2414 106 004**

**Surabaya, Januari 2017**  
**Mengetahui**

**Pembimbing**

  
**Ir. Yeri Susanto, M.T.**

**NIP.19541017 198003 1 005**

**Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**

  
**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**

**NIP. 19780902 200312 1 002**



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS RESPONS SIMPANGAN *DRILL PIPE* PADA PENGEBORAN BAWAH AIR DALAM KONDISI *SPUDDING IN* DAN *DRILLING* MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA


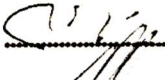

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Vibrasi dan Akustik  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Dery Herwandinata  
NRP. 2414 106 004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1. Ir. Yerri Susatio, M.T.        |  ..... Pembimbing   |
| 2. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc. | ..... Penguji I   |
| 3. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  |  ..... Penguji II  |
| 4. Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  |  ..... Penguji III |

Surabaya, Januari 2017



# **ANALISIS RESPONS SIMPANGAN *DRILL PIPE* PADA PENGEBORAN BAWAH AIR DALAM KONDISI *SPUDDING IN* DAN *DRILLING* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Nama Mahasiswa** : Dery Herwandinata  
**NRP** : 2414106004  
**Jurusan** : Teknik Fisika, FTI - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Yerri Susatio, M.T.

## **ABSTRAK**

Pada proses pengeboran bawah air, *drill pipe* digunakan sebagai media penyambung antara *Top Drive* dengan *drill bit*. *Drill pipe* dengan panjang sekitar 10 m disusun bertingkat dengan sambungan berupa ulir. Pada saat proses pengeboran, *drill pipe* akan diputar dengan torsi tertentu agar *drill bit* ikut berputar dan menggesek formasi. Pada saat proses pemberian torsi tersebut, terdapat kemungkinan rusaknya sambungan-sambungan antar *drill pipe*. Dengan mensimulasikan proses tersebut menggunakan metode Elemen Hingga, dan memvariasikan parameter-parameter *drill pipe*, didapatkan respons simpangan paling kecil di node 1 pada variasi diameter *drill pipe* 5,875" sebesar 0,0711 rad pada kondisi *Spudding In* dan sebesar 0,00355 rad pada kondisi *Drilling*.

**Kata kunci** : Elemen Hingga, *Drill Pipe*, Respons Simpangan



***ANALYSIS OF DRILL PIPE DISPLACEMENT RESPONSE  
TO UNDER WATER DRILLING  
IN SPUDDING IN AND DRILLING CONDITION USING  
FINITE ELEMENT METHOD***

***Name*** : Dery Herwandinata  
***NRP*** : 2414106004  
***Department*** : Teknik Fisika, FTI-ITS  
***Advisor Lecturer*** : Ir. Yerri Susatio, M. T.

***ABSTRACT***

*In underwater Drilling, Drill Pipes are used as a connecting medium between Top Drive and Drill Bit. 10 m length Drill Pipes are arranged via threaded connection. During the process of drilling, drill pipes will be given a certain amount of torque so that the drill bit will follow the rotation and rub the formation. At the time of torque given, there is a possibility of damage at the connections between the drill pipe. By simulating the process using Finite Element methods, and varying the parameters of drill pipe, it is obtained that the smallest displacement responses of node 1 is in the 5.875" diameter variation with value 0,0711 rad in Spudding In condition and 0,00355 rad in Drilling condition.*

***Keyword: Finite Element, Drill Pipe, Displacement Response***





## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah, segala Puji bagi-Nya. Hanya atas seluruh nikmat pemberian Allah SWT lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir beserta pembuatan laporannya dengan judul **“Analisis Respons Simpangan *Drill Pipe* pada Pengeboran Bawah Air dalam kondisi *Spudding In* dan *Drilling* menggunakan Metode Elemen Hingga”**.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan menyusun laporan ini, penulis telah mendapat bantuan, bimbingan, serta dorongan dari banyak pihak sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Orang tua, istri, dan keluarga yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Ir. Yerri Susatio, M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan masukan dan bimbingan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Sebagai seorang manusia yang tidak luput dari dosa dan khilaf, penulis memohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan pada laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberi manfaat bagi penulis dan para pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>XV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XVII</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XXV</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3    BATASAN MASALAH .....	2
1.4    TUJUAN .....	2
1.5    SISTEMATIKA LAPORAN .....	2
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
<b>TEORI PENUNJANG .....</b>	<b>5</b>
2.1    GAMBARAN UMUM PROSES PENGEBORAN .....	5
2.1.1.    Platform/Rig.....	5
2.1.2.    Top Drive .....	6
2.1.3.    Drill Pipe.....	7
2.2    TORSI .....	8
2.3    KONSTANTA PUNTIR .....	9
2.4    TORSIONAL CONSTANT .....	10
2.5    ELEMEN HINGGA.....	11
2.6    MATRIKS KEKAKUAN.....	12
2.5.1    Matriks Kekakuan Lokal.....	12
2.5.2    Matriks Kekakuan Global .....	13
<b>BAB III.....</b>	<b>17</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1    DIAGRAM ALIR .....	17
3.2    PERSAMAAN GERAK <i>DRILL PIPE</i> .....	18
3.3    MATRIKS KEKAKUAN GLOBAL .....	18
3.4    MENENTUKAN SYARAT BATAS .....	21
3.5    UJI KESESUAIAN .....	23
<b>BAB IV.....</b>	<b>27</b>
<b>ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1    VARIASI DIAMETER <i>DRILL PIPE</i> .....	27
4.2    VARIASI KETEBALAN <i>DRILL PIPE</i> .....	50

4.3	VARIASI JENIS BAHAN <i>DRILL PIPE</i> .....	61
4.4	VARIASI TORSI YANG DIBERIKAN <i>TOP DRIVE</i> .....	72
4.5	VARIASI PANJANG <i>DRILL PIPE</i> .....	95
<b>BAB V .....</b>		<b>107</b>
<b>PENUTUP .....</b>		<b>107</b>
5.1	KESIMPULAN.....	107
5.2	SARAN .....	107
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>109</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe-tipe Platform/Rig <sup>[4]</sup> .....	5
Gambar 2.2 <i>Top Drive</i> .....	7
Gambar 2.3 <i>Drill Pipe</i> .....	8
Gambar 2.4 <i>Torsion</i> pada batang dengan penampang kotak.....	9
Gambar 2.5 Penampang batang berbentuk silinder kosong .....	11
Gambar 2.6 Elemen batang dengan sebuah pegas puntir .....	13
Gambar 2.7 Struktur batang dengan 2 elemen .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir.....	17
Gambar 3.2 pendefinisian tiap titik pada elemen matriks pada <i>software Mathcad</i> .....	19
Gambar 3.3 Rincian elemen dari 20 Matriks Kekakuan Lokal pada <i>software Mathcad</i> .....	19
Gambar 3.4 Matriks Kekakuan Global.....	20
Gambar 3.5 Contoh Persamaan Gerak <i>Drill Pipe</i> dengan 4 elemen dan 5 buah <i>node</i> .....	23
Gambar 3.6 Contoh Persamaan Gerak <i>Drill Pipe</i> dengan 4 elemen dan 5 buah <i>node</i> .....	23
Gambar 3.7 Sub Matriks hasil <i>partitioning</i> Gambar 3.6 .....	24
Gambar 3.8 Penyelesaian Sub Matriks.....	24
Gambar 3.9 Contoh respons simpangan.....	24
Gambar 4.1 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 3,5” pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	27
Gambar 4.2 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 3,5” pada kondisi <i>Drilling</i> .....	28
Gambar 4.3 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 3,5” pada kondisi <i>Spudding In</i> ....	29
Gambar 4.4 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 3,5” pada kondisi <i>Drilling</i> .....	29
Gambar 4.5 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 4” pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	30
Gambar 4.6 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 4” pada kondisi <i>Drilling</i> .....	31

Gambar 4.7 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 4" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	32
Gambar 4.8 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 4" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	32
Gambar 4.9 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 4,5" pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> .....	33
Gambar 4.10 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 4,5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	34
Gambar 4.11 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 4,5" pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> .....	35
Gambar 4.12 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 4,5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	35
Gambar 4.13 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	36
Gambar 4.14 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	37
Gambar 4.15 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5" pada kondisi <i>Spudding In</i> ....	38
Gambar 4.16 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	38
Gambar 4.17 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5,5" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	39
Gambar 4.18 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5,5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	40
Gambar 4.19 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5,5" pada kondisi <i>Spudding In</i> ..	41
Gambar 4.20 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5,5" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	41
Gambar 4.21 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5,875" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	42
Gambar 4.22 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 5,875" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	43
Gambar 4.23 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5,875" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	44
Gambar 4.24 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 5,875" pada kondisi <i>Drilling</i> ....	44
Gambar 4.25 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 6,625" pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	45
Gambar 4.26 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> 6,625" pada kondisi <i>Drilling</i> .....	46

Gambar 4.27 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 6,625” pada kondisi <i>Spudding In</i>	47
Gambar 4.28 Reaksi <i>Drill Pipe</i> 6,625” pada kondisi <i>Drilling</i> ....	47
Gambar 4.29 Perbandingan Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan berbagai variasi diameter pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> (b) kondisi <i>Drilling</i> .....	48
Gambar 4.30 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0.898“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	50
Gambar 4.31 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0.898“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	50
Gambar 4.32 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,898“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	51
Gambar 4.33 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,898“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	52
Gambar 4.34 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,736“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	53
Gambar 4.35 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,736“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	53
Gambar 4.36 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,736“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	54
Gambar 4.37 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,736“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	55
Gambar 4.38 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	56
Gambar 4.39 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	56
Gambar 4.40 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	57
Gambar 4.41 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi <i>Drilling</i> .....	58
Gambar 4.42 Perbandingan Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan berbagai variasi ketebalan pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> (b) kondisi <i>Drilling</i> .....	59

Gambar 4.43 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Stainless Steel pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	61
Gambar 4.44 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Stainless Steel pada kondisi <i>Drilling</i> .....	61
Gambar 4.45 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Stainless Steel pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	62
Gambar 4.46 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Stainless Steel pada kondisi <i>Drilling</i> .....	63
Gambar 4.47 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Titanium pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	64
Gambar 4.48 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Titanium pada kondisi <i>Drilling</i> .....	64
Gambar 4.49 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Titanium pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	65
Gambar 4.50 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Titanium pada kondisi <i>Drilling</i> .....	66
Gambar 4.51 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Steel Cast pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	67
Gambar 4.52 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Steel Cast pada kondisi <i>Drilling</i> .....	67
Gambar 4.53 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Steel Cast pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	68
Gambar 4.54 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan bahan Steel Cast pada kondisi <i>Drilling</i> .....	69
Gambar 4.55 Perbandingan Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan berbagai variasi bahan pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> (b) kondisi <i>Drilling</i> .....	70
Gambar 4.56 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 600ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	72
Gambar 4.57 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 600ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	72
Gambar 4.58 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 600 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	73



Gambar 4.59 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 600 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	74
Gambar 4.60 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	75
Gambar 4.61 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	75
Gambar 4.62 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	76
Gambar 4.63 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	77
Gambar 4.64 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	78
Gambar 4.65 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	78
Gambar 4.66 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	79
Gambar 4.67 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	80
Gambar 4.68 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	81
Gambar 4.69 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	81
Gambar 4.70 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	82
Gambar 4.71 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	83
Gambar 4.72 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	84
Gambar 4.73 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	84
Gambar 4.74 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	85

Gambar 4.75 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	86
Gambar 4.76 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	87
Gambar 4.77 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	87
Gambar 4.78 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	88
Gambar 4.79 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	89
Gambar 4.80 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	90
Gambar 4.81 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	90
Gambar 4.82 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	91
Gambar 4.83 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi <i>Drilling</i> .....	92
Gambar 4.84 Perbandingan Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan berbagai variasi torsi pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> (b) kondisi <i>Drilling</i> .....	93
Gambar 4.85 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 27 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	95
Gambar 4.86 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 27 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	95
Gambar 4.87 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 27 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	96
Gambar 4.88 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 27 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	97
Gambar 4.89 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 30 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	98
Gambar 4.90 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 30 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	98

Gambar 4.91 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 30 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	99
Gambar 4.92 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 30 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	100
Gambar 4.93 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 32 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	101
Gambar 4.94 Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 32 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	101
Gambar 4.95 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 32 ft pada kondisi <i>Spudding In</i> .....	102
Gambar 4.96 Reaksi <i>Drill Pipe</i> dengan panjang 32 ft pada kondisi <i>Drilling</i> .....	103
Gambar 4.97 Perbandingan Respons Simpangan <i>Drill Pipe</i> dengan berbagai variasi panjang drill pipe pada (a) kondisi <i>Spudding In</i> (b) kondisi <i>Drilling</i> .....	104

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Syarat batas kondisi <i>Spudding In</i> .....	21
Tabel 3.2 Syarat batas kondisi <i>Drilling</i> .....	22

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan sumber daya minyak dan gas alam memaksa perlunya dilakukan eksplorasi hingga lepas pantai. Perbedaan signifikan antara pengeboran darat dengan lepas pantai adalah jarak platform ke tanah/dasar laut. Pada pengeboran lepas pantai, jarak platform ke dasar laut sangat beragam, dimulai dari kedalaman beberapa meter seperti pada rawa di Kalimantan Timur, hingga ribuan meter di Teluk Meksiko<sup>[1]</sup>.

*Drill pipe*, yaitu pipa berongga dengan berbagai ukuran diameter, berdinding tipis, terbuat dari baja atau campuran aluminium, digunakan sebagai penghubung antara peralatan di platform dengan rangkaian pengebor (*drill string*) yang bagian terbawahnya merupakan mata bor (*drill bit*). Dengan panjang rata-rata sekitar 10 m, *drill pipe* tersebut akan disambung satu demi satu di atas platform hingga *drill bit* yang terletak paling bawah menyentuh dasar laut. Setelah mencapai dasar laut, maka seluruh rangkaian *drill pipe* akan diputar (diberikan Torsi). Putaran tersebut akan tersalurkan ke seluruh *drill string*, termasuk *drill bit* yang berada di posisi paling bawah. Hasil putaran tersebut akan mengakibatkan bergeseknya *drill bit* dengan formasi tanah di sekitarnya, yang akhirnya dapat membuat formasi terlubangi.

Pada proses pemutaran rangkaian *drill pipe*, terdapat kemungkinan rusaknya sambungan antar *drill pipe*. Salah satu masalah yang umum timbul adalah *twist off*<sup>[2]</sup>. *Twist off* adalah peristiwa rusaknya *drill string* yang disebabkan *fatigue* atau torsi berlebih<sup>[3]</sup>. Pada Tugas Akhir ini, penulis mengambil 2 kondisi saat rangkaian *drill pipe* tersebut diputar, yaitu saat *drill bit* baru akan mengebor dasar laut atau disebut *spudding in* dan saat *drill bit* sudah masuk ke dalam formasi atau disebut *drilling*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dari Tugas Akhir ini adalah bagaimana memodelkan rangkaian *drill pipe* serta menganalisis respons simpangannya untuk mengetahui kerusakan pada *drill pipe* dalam kondisi *spudding in* dan *drilling* menggunakan metode elemen hingga

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Rangkaian *drill pipe* tidak dipengaruhi arus/gangguan air laut.
2. Variabel kontrol yang digunakan adalah variasi diameter, ketebalan, bahan, dan panjang *drill pipe*.

## 1.4 Tujuan

Dari permasalahan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan model, menganalisis respons simpangan, dan mengetahui kerusakan yang dialami *drill pipe* dalam kondisi *spudding in* dan *drilling*.

## 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika laporan.

### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Berisi tentang teori mengenai gambaran umum proses pengeboran, torsi, konstanta puntir, *torsional* constant dan metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu Elemen Hingga.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penyelesaian Tugas Akhir yang meliputi langkah-langkah



penelitian yang dituliskan dalam diagram alir dan langkah-langkah analisis yang dilakukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

#### **BAB IV ANALISIS DATA**

Berisi tentang hasil analisis dan pembahasan Tugas Akhir.

#### **BAB V PENUTUP**

Berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dalam tugas akhir serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

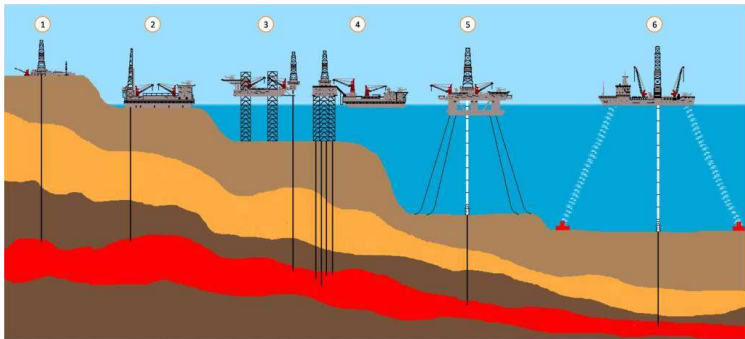
## BAB II

### TEORI PENUNJANG

#### 2.1 Gambaran Umum proses Pengeboran

##### 2.1.1. Platform/Rig

Proses pengeboran memerlukan banyak peralatan dan sumber daya manusia. Demi sisi ekonomis, pada pengeboran lepas pantai, tempat tinggal para pekerja (*living quarter*) dan tempat seluruh peralatan pengeboran diintegrasikan pada suatu tempat yang dinamakan Platform/Rig. Jadi Platform/Rig adalah instalasi yang dipergunakan pada proses pengeboran sebagai tempat tinggal para pekerja dan sebagai tempat untuk meletakkan dan mengoperasikan segala peralatan penunjang pengeboran. Pada Rig lepas pantai, tipenya ditentukan oleh kedalaman dasar laut yang akan dikerjakan. Semakin dalam dasar laut yang akan dikerjakan, semakin canggih dan mahal platform yang dipergunakan.



**Gambar 2.1 Tipe-tipe Platform/Rig<sup>[4]</sup>**

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat beberapa contoh tipe Rig :

##### 1. Rig Darat

Rig ini beroperasi di darat dan memiliki *living quarter* yang terpisah. Ketinggian lantai bor (*drill floor*) rata-rata kurang dari 10 m.

2. *Barge/kapal tongkang*  
Kapal berpermukaan datar dan rata, mengapung di perairan dangkal yang dilengkapi dengan Rig pengeboran. Biasa beroperasi di perairan dangkal seperti sungai atau laut dangkal.
3. *Jack-Up Rig*  
Rig yang bisa digerakkan dari bawah hingga dasar laut dan memiliki tiga kaki untuk menopang di suatu posisi yang tetap. *Jack-Up Rig* didesain untuk beroperasi di lautan hingga kedalaman 350 ft (107 meter)
4. *Fixed platform (steel jacket)*  
*Fixed platform* adalah jenis platform *offshore* yang digunakan untuk produksi minyak atau gas. Platform ini dibangun pada beton dan / atau kaki baja yang berpondasi langsung di dasar laut. Platform ini bisa dimuati dek dengan ruang untuk Rig pengeboran, fasilitas produksi dan akomodasi personel.
5. *Rig Semi-submersible*  
*Rig Semi-submersible* adalah Rig yang tidak memiliki penopang di bawah tetapi mengapung di air (biasa disebut *floaters*). Rig ini bisa beroperasi di kedalaman laut hingga 3.500 ft (1.007 meter). Tugas Akhir ini menggunakan Rig bertipe *Semi-submersible* dengan kedalaman dasar laut dipilih 200 m yang sudah dapat merepresentasikan Rig dengan tipe tersebut.
6. *Drillships*  
Drillship digunakan untuk pengeboran di kedalaman laut hingga 7.500 ft (2.286 meter)

### 2.1.2. *Top Drive*

Salah Satu peralatan utama yang dipergunakan dalam proses pengeboran adalah *Top Drive*. *Top Drive* adalah peralatan mekanik di Rig yang digunakan untuk memberikan torsi pada rangkaian pengebor sehingga dapat melubangi formasi. Jadi *Top Drive* inilah yang bertugas memutar seluruh rangkaian pengebor, hingga putarannya tersalurkan pada drill bit yang terletak di dasar lautan yang akhirnya dapat menciptakan lubang. Torsi yang dihasilkan *Top Drive* sangat bervariasi bergantung tipe produknya,

salah satu Top Drive keluaran National Oilwell Varco bertenaga 1.100 dk dapat menyalurkan torsi sebesar 45.000 ft.lb.



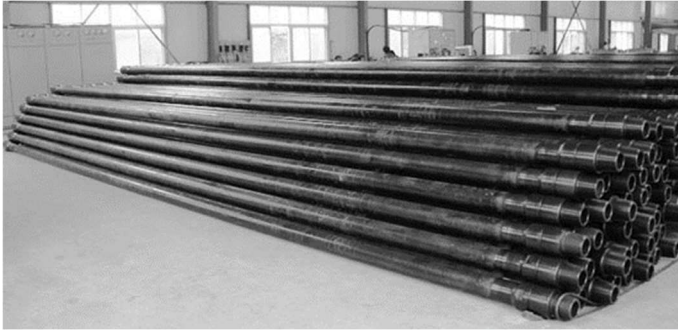
**Gambar 2.2 Top Drive**

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat Top Drive yang berwarna kuning. *Top Drive* ini dipasang pada menara bor dan digantung dibawah travelling *block* yang digerakkan dengan tenaga hidrolik dan dapat dibongkar pasang. Selain berfungsi untuk memutar *drill string* selama proses pengeboran, Top Drive juga digunakan untuk merangkai seluruh rangkaian *drill pipe* yang koneksinya berupa ulir (*box* dan *pin*).

### **2.1.3. Drill Pipe**

Drill Pipe merupakan pipa berongga dengan dinding tipis yang terbuat dari baja atau campuran aluminium yang digunakan pada *drilling rig*. Pipa tersebut berongga untuk memungkinkan *drilling fluid* (*water based* atau *oil based*) dipompa ke dalam sumur melalui *drill bit* dan keluar kembali melalui *annulus*, celah antara *drill pipe* dan sumur. *Drill pipe* mempunyai ukuran, kekuatan, dan

ketebalan yang beragam tapi panjangnya biasanya berkisar 27 feet hingga 32 feet.



**Gambar 2.3 Drill Pipe**

Gambar 2.3 menunjukkan bentuk *drill pipe*. *Drill pipe* inilah yang akan disusun sebagai medium penghubung antara *drill bit* yang berada di dasar laut dengan *Top Drive* yang berada di atas platform. *Drill pipe* disambung satu demi satu sambil terus diturunkan menuju dasar laut. Saat *drill pipe* terakhir selesai disambung (*drill bit* sudah menyentuh dasar laut), maka proses pengeboran kemudian dilanjutkan dengan cara memutar *Top Drive*.

## 2.2 Torsi

*Top Drive* digunakan untuk memberikan putaran/Torsi pada *drill pipe*. Sedangkan pemberian Momen Puntir (*Torque*) pada suatu objek akan mengakibatkan gerakan memutar (*Torsion*). Hal tersebut berarti saat *Top Drive* memberikan *Torque* pada *drill pipe*, maka *drill pipe* akan mengalami gerakan *twist*/memutar yang disebut *torsion*. Torsi/*Torque* didefinisikan sebagai gaya yang mampu mengubah kecepatan angular suatu objek atau menyebabkan terjadinya *torsion* pada suatu sumbu, torsi dinyatakan dalam newton meter (N.m) atau *foot-pound force* (ft.lbf). Sedangkan *torsion* dapat dideskripsikan sebagai efek putar yang diakibatkan bagian yang berbeda dari suatu objek mengalami

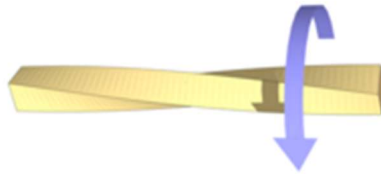
simpangan angular yang berbeda terhadap sumbu putarnya. Hubungan antara Torsi dengan sudut puntir untuk objek dengan penampang seragam dinyatakan dengan rumus<sup>[5]</sup> :

$$T = k \theta \quad (1)$$

Dengan  $T$  = Torsi [Nm]

$k$  = konstanta puntir [Nm/rad]

$\theta$  = sudut puntir [rad]



**Gambar 2.4 Torsion pada batang dengan penampang kotak**

Gambar 2.4 di atas menunjukkan bagaimana pengaruh Torsi pada suatu objek. Pada Tugas Akhir ini, objek tersebut berupa *drill pipe* yang disusun dengan posisi vertikal, kemudian seiring pemberian Torsi oleh *Top Drive*, maka akan timbul simpangan pada tiap sambungan *drill pipe*.

### 2.3 Konstanta Puntir

Konstanta puntir (*rotational stiffness*) yang merupakan perbandingan dari torsi terhadap sudut puntirnya, mendeskripsikan ukuran kemampuan benda elastis untuk menahan deformasi terhadap Torsi yang diberikan. Pada batang lurus seragam, konstanta puntir dinyatakan dengan rumus<sup>[6]</sup> :

$$k = \frac{G x J}{L} \quad (2)$$

Dengan  $k$  = konstanta puntir [Nm/rad]

$G$  = modulus kekakuan [Pa]

$J = \text{torsional constant } [\text{m}^4]$

$L = \text{panjang batang } [\text{m}]$

Berdasarkan definisi pada sub bab sebelumnya dapat dijelaskan bahwa semakin besar konstanta puntir suatu objek, berarti objek tersebut semakin mampu/kuat menahan deformasi akibat torsi/putaran. Sedangkan berdasarkan rumus di atas, dapat dikatakan bahwa besarnya konstanta puntir suatu objek berbanding lurus dengan Modulus Kekakuan yang merupakan properti suatu bahan.

## 2.4 Torsional Constant

Dalam rumus konstanta puntir pada sub bab sebelumnya dapat dilihat bahwa konstanta puntir selain dipengaruhi oleh Modulus Kekakuan bahannya, juga dipengaruhi oleh *torsional constant*. *Torsional Constant* merupakan *2nd moment of area* atau *area moment of inertia*, yaitu sifat geometris dari suatu penampang yang mencerminkan bagaimana distribusi titik-titiknya terhadap sumbu yang berubah<sup>[7]</sup>. Dengan demikian, bentuk penampang objek mempengaruhi respon objek tersebut terhadap torsi yang diberikan.

Pada batang dengan ketebalan seragam dan berpenampang silinder kosong, *torsional constant* nya dapat dinyatakan dengan rumus<sup>[8]</sup> :

$$J = \frac{4 \times A^2 t}{U} \quad (3)$$

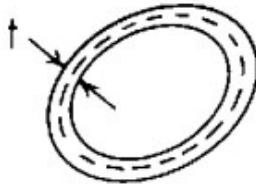
Dengan  $J = \text{torsional constant } [\text{m}^4]$

$A = \text{Area rerata yang dibatasi oleh diameter luar dan diameter dalam } [\text{m}^2]$

$t = \text{ketebalan batang } [\text{m}]$

$U = \text{keliling dari nilai tengah silinder } [\text{m}]$





**Gambar 2.5 Penampang batang berbentuk silinder kosong**

Pada Tugas Akhir ini digunakan *drill pipe* dengan penampang yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 di atas. *Drill pipe* dengan parameter yang berbeda (perbedaan diameter atau ketebalan) akan menghasilkan nilai *torsional constant* yang juga berbeda. Sedangkan apabila objek yang digunakan berbeda dengan *drill pipe* yang berpenampang seperti Gambar 2.5, maka untuk mencari *torsional constant* nya harus menggunakan rumus lain sesuai dengan penampang objek yang dipergunakan<sup>[8]</sup>.

## 2.5 Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari *suatu* gejala fisis.

Untuk permasalahan kompleks dari geometri, pembebanan, dan sifat material, umumnya sulit untuk diselesaikan secara matematis. Penyelesaian matematis menggunakan persamaan matematika yang menghasilkan persamaan untuk mendapatkan informasi/penyelesaian dari nilai yang tidak diketahui di setiap lokasi di bagian struktur/objek. Penyelesaiannya umumnya menggunakan *Ordinary Differential Equation & Partial Differential Equation*. Sedangkan penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisis dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan. Penyelesaian ini memberikan hasil/penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu.<sup>[9]</sup>

Pada Tugas Akhir ini, titik yang ingin dianalisis/diketahui penyelesaiannya adalah pada tiap sambungan *drill pipe*. Karena itu Metode Elemen Hingga dapat diterapkan sehingga akan didapatkan solusi pada batas-batas elemen yang ditetapkan, yaitu pada tiap sambungan *drill pipe*. Dengan menentukan bahwa setiap *drill pipe* diwakilkan dengan 1 elemen dengan batas 2 buah *node* di masing-masing di ujungnya, dan dengan mensimulasikan Rig tipe *semi-submersible* seperti pada sub bab 2.1.1, serta bahwa panjang tiap *drill pipe* kurang lebih 10 m, maka didapatkan *drill string* sepanjang 20 *drill pipe* yang dimodelkan sebagai 20 elemen dengan 21 buah *node* pada Elemen Hingga.

## 2.6 Matriks Kekakuan

Masalah yang dianalisis pada Tugas Akhir ini adalah mengenai pengaruh torsi yang diberikan *Top Drive* terhadap objek berupa *drill pipe*. Sistem tersebut berkaitan dengan *stiffness*/kekakuan objek. Karena itulah, hubungan keduanya didapatkan berupa nilai kekakuan (konstanta puntir). Karena analisis pada Tugas Akhir ini menggunakan metode Elemen Hingga yang memodelkan sistem menjadi sejumlah elemen hingga, maka akan didapatkan nilai kekakuan (konstanta puntir) tersebut dalam bentuk Matriks yang disebut Matriks Kekakuan. Sehingga dapat dikatakan bahwa Matriks kekakuan adalah matriks yang memenuhi hubungan antara Torsi yang diberikan ( $T$ ) dengan perpindahan/*displacement* yang dihasilkan ( $\theta$ ) melalui persamaan:

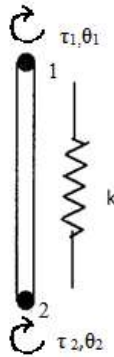
$$T = k \cdot \theta \quad (4)$$

### 2.5.1 Matriks Kekakuan Lokal

Dalam menganalisa suatu sistem menggunakan Metode Elemen Hingga, sistem tersebut dipecah/dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen hingga yang kemudian dicari persamaan matematisnya. Untuk membedakan persamaan pada tingkat elemen dengan persamaan pada tingkat sistem, masing-masing digunakan istilah lokal dan global. Matriks Kekakuan Lokal merujuk pada Matriks Kekakuan yang terdapat pada tingkat

elemen, dan Matriks Kekakuan Global merujuk pada Matriks Kekakuan yang terdapat pada tingkat sistem.

Contoh bila sebuah batang dipotong dalam bagian kecil yang disebut sebagai elemen garis, tampak seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6. Elemen batang ini dianggap ekuivalen dengan sebuah sistem pegas puntir dalam merespons torsi yang diberikan kepadanya.



**Gambar 2.6** Elemen batang dengan sebuah pegas puntir

Maka berdasarkan rumus yang telah disebutkan pada sub bab sebelumnya, persamaan kesetimbangan gaya yang bekerja :

$$\begin{aligned}\tau_1 &= k(\theta_1 - \theta_2) \\ \tau_2 &= k(\theta_2 - \theta_1)\end{aligned}\tag{5}$$

Sehingga bila kedua persamaan tersebut disusun dalam bentuk matriks, persamaan di atas ditulis sebagai :

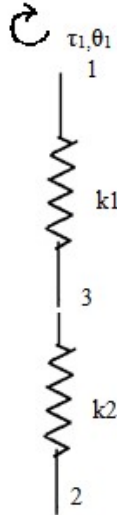
$$\begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}\tag{6}$$

### 2.5.2 Matriks Kekakuan Global

Seperti telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, Matriks Kekakuan Global merupakan Matriks Kekakuan yang terdapat pada tingkat sistem, hal ini berarti bahwa Matriks Kekakuan tersebut merupakan Matriks gabungan dari sejumlah Matriks Kekakuan Lokal yang dimiliki sistem tersebut. Untuk

mendapatkan Matriks Kekakuan Global, dapat ditempuh dengan cara *assemblage* dengan langkah- langkahnya sebagai berikut :

1. Menulis Matriks Kekakuan Lokal untuk tiap elemen, dengan memisahkan tiap elemen oleh *node*.
2. Mengubah urutan dari atas ke bawah dengan nomor yang membesar



**Gambar 2.7** Struktur batang dengan 2 elemen

Mengambil contoh pada Gambar 2.7 di atas, sistem yang terdiri dari 2 pegas dapat dipisahkan menjadi 2 elemen yang masing-masing dibatasi 2 *node* pada tiap ujungnya, sehingga total didapat 3 *node* pada sistem tersebut.

Senada dengan sub bab sebelumnya dalam mencari Matriks Kekakuan Lokal, Matriks Kekakuan Lokal untuk elemen pertama pada Gambar 2.7 dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Sedangkan Matriks Kekakuan Lokal untuk elemen 2 dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \tau_3 \\ \tau_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_3 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Langkah selanjutnya adalah menyusun ulang Persamaan (8) dengan mengubah urutannya dari atas ke bawah dengan nomor yang membesar :

$$\begin{Bmatrix} \tau_2 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

Kemudian menggabungkan (*assemblage*) kedua matriks (7) dan (9), sehingga diperoleh persamaan :

$$\begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & -k_1 \\ 0 & k_2 & -k_2 \\ -k_1 & -k_2 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Persamaan di atas merupakan Persamaan Kestimbangan Sistem yang memiliki Matriks Kekakuan Global di dalamnya. Persamaan inilah yang kemudian akan diselesaikan sehingga didapatkan solusi dari setiap *node* yang telah ditentukan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, dilakukan beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir di bawah ini :



**Gambar 3.1** Diagram alir Tugas Akhir

### 3.2 Persamaan Gerak *Drill Pipe*

Langkah pertama adalah mencari referensi mengenai torsi<sup>[10]</sup>, diameter, ketebalan, panjang<sup>[11]</sup>, dan bahan suatu benda seragam<sup>[12]</sup>. Setelah itu, maka akan didapatkan persamaan gerak *drill pipe* seperti yang sudah dijelaskan dalam Bab II :

$$T = k \theta \quad (11)$$

$$k = \frac{G x \frac{4 x A^2 t}{U}}{L} \quad (12)$$

Persamaan 11 merupakan Persamaan Gerak Drill Pipe yang berlaku baik pada tingkat elemen maupun pada tingkat system. Persamaan 12 merupakan rumus yang digunakan untuk mencari konstanta punter yang tertera pada Persamaan 11. Kedua persamaan ini digunakan dalam pencarian solusi dengan memasukkan nilai-nilai yang dibutuhkan dari referensi/standar yang dipakai dalam dunia pengeboran.

### 3.3 Matriks Kekakuan Global

Langkah selanjutnya adalah mendapatkan Matriks Kekakuan Global. Sistem yang akan disimulasikan mempunyai jumlah elemen sebanyak 20 buah dengan 21 buah *node*. *Software* Mathcad digunakan untuk mempermudah perhitungan karena besarnya Matriks yang akan dianalisis. Karena *node* yang akan dianalisis berjumlah 21 buah, maka akan menghasilkan Matriks berordo 21x21.

Pada proses pembuatan Matriks Kekakuan Global tersebut, terlebih dahulu dihitung Matriks Kekakuan Lokal untuk tiap Elemen Sistem. Selanjutnya Matriks Kekakuan Lokal akan digabungkan dengan menggunakan metode *assemblage*. Pada metode penggabungan secara *assemblage*, akan terdapat lebih banyak komponen yang mempunyai nilai 0 dibandingkan komponen yang mempunyai nilai. Karena itu sebelumnya didefinisikan bahwa setiap komponen pada matriks mempunyai nilai 0 kecuali untuk komponen yang didefinisikan mempunyai nilai lain.



```

ORIGIN := 1
i := 1..21
j := 1..21

K1i,j := 0      K5i,j := 0      K9i,j := 0      K13i,j := 0      K17i,j := 0
K2i,j := 0      K6i,j := 0      K10i,j := 0     K14i,j := 0     K18i,j := 0
K3i,j := 0      K7i,j := 0      K11i,j := 0     K15i,j := 0     K19i,j := 0
K4i,j := 0      K8i,j := 0      K12i,j := 0     K16i,j := 0     K20i,j := 0

```

**Gambar 3.2** pendefinisian tiap titik pada elemen matriks pada *software* Mathcad

Pengerjaan selanjutnya adalah mencari Matriks Kekakuan Lokal tiap Elemen Sistem yang menempati komponen tertentu di dalam Matriks Kekakuan Global

```

K11,1 := k      K22,2 := k      K33,3 := k      K44,4 := k
K11,2 := -k     K22,3 := -k     K33,4 := -k     K44,5 := -k
K12,1 := -k     K23,2 := -k     K34,3 := -k     K45,4 := -k
K12,2 := k      K23,3 := k      K34,4 := k      K45,5 := k

K55,5 := k      K66,6 := k      K77,7 := k      K88,8 := k
K55,6 := -k     K66,7 := -k     K77,8 := -k     K88,9 := -k
K56,5 := -k     K67,6 := -k     K78,7 := -k     K89,8 := -k
K56,6 := k      K67,7 := k      K78,8 := k      K89,9 := k

K99,9 := k      K1010,10 := k     K1111,11 := k     K1212,12 := k
K99,10 := -k    K1010,11 := -k    K1111,12 := -k    K1212,13 := -k
K910,9 := -k    K1011,10 := -k    K1112,11 := -k    K1213,12 := -k
K910,10 := k    K1011,11 := k     K1112,12 := k     K1213,13 := k

K1313,13 := k   K1414,14 := k     K1515,15 := k     K1616,16 := k
K1313,14 := -k  K1414,15 := -k     K1515,16 := -k     K1616,17 := -k
K1314,13 := -k  K1415,14 := -k     K1516,15 := -k     K1617,16 := -k
K1314,14 := k   K1415,15 := k     K1516,16 := k     K1617,17 := k

K1717,17 := k   K1818,18 := k     K1919,19 := k     K2020,20 := k
K1717,18 := -k  K1818,19 := -k     K1919,20 := -k     K2020,21 := -k
K1718,17 := -k  K1819,18 := -k     K1920,19 := -k     K2021,20 := -k
K1718,18 := k   K1819,19 := k     K1920,20 := k     K2021,21 := k

```

**Gambar 3.3** Rincian elemen dari 20 Matriks Kekakuan Lokal pada *software* Mathcad

Kemudian dengan menjumlahkan seluruh Matriks Kekakuan Lokal, akan didapatkan Matriks Kekakuan Global :

$\frac{E}{L} (10^9 \text{ N/m})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	8.44E+03	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04	-8.44E+03
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.44E+03	1.69E+04

**Gambar 3.4** Matriks Kekakuan Global

### 3.4 Menentukan syarat batas

Setelah mendapatkan Matriks Kekakuan Global, langkah selanjutnya adalah menentukan syarat batas. Syarat batas diperlukan untuk menyelesaikan Persamaan Kesetimbangan baik untuk kondisi *Spudding In* maupun kondisi *Drilling*.

Pada kondisi *Spudding In*, syarat batas yang digunakan berhubungan dengan kondisi *drill pipe* yang sebelumnya bebas, kemudian saat *drill bit* mulai menyentuh formasi, ujung *drill bit* seolah-olah mengalami hambatan dan menjadi titik mati. Untuk itu didefinisikan bahwa pada *node* terbawah, respons *displacementnya* 0.

**Tabel 3.1** Syarat batas kondisi *Spudding In*

Torsi	nilai	impanga	nilai
T1	T	θ1	-
T2	0	θ2	-
T3	0	θ3	-
T4	0	θ4	-
T5	0	θ5	-
T6	0	θ6	-
T7	0	θ7	-
T8	0	θ8	-
T9	0	θ9	-
T10	0	θ10	-
T11	0	θ11	-
T12	0	θ12	-
T13	0	θ13	-
T14	0	θ14	-
T15	0	θ15	-
T16	0	θ16	-
T17	0	θ17	-
T18	0	θ18	-
T19	0	θ19	-
T20	0	θ20	-
T21	0	θ21	0

Sedangkan pada kondisi *Drilling*, dimisalkan bahwa 50% Torsi yang diberikan di *node* teratas akan tersalurkan pada *node* terbawah. Bila Torsi yang tersalurkan terlalu kecil (kurang dari

50%) maka dapat diartikan proses pengeboran berjalan kurang efisien, karena itu dipilih nilai 50% sebagai pertimbangan bahwa bila Torsi yang tersalurkan lebih besar dari itu, maka respons simpangan *drill pipe* tentu akan lebih besar.

Nilai Torsi dan *displacement* dari *node* teratas sendiri didapatkan dari pendekatan 1 elemen. Dimisalkan bahwa terdapat 1 elemen *drill pipe* dengan ujung bawah berupa titik mati, dan diberikan Torsi pada ujung atas sehingga menghasilkan *displacement* tertentu pada ujung tersebut. Nilai *displacement* tersebut yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk mendefinisikan *displacement* pada *node* teratas dan terbawah sistem.

**Tabel 3.2** Syarat batas kondisi *Drilling*

Torsi	nilai	simpangan	nilai
T1	T	$\theta_1$	T/k
T2	0	$\theta_2$	-
T3	0	$\theta_3$	-
T4	0	$\theta_4$	-
T5	0	$\theta_5$	-
T6	0	$\theta_6$	-
T7	0	$\theta_7$	-
T8	0	$\theta_8$	-
T9	0	$\theta_9$	-
T10	0	$\theta_{10}$	-
T11	0	$\theta_{11}$	-
T12	0	$\theta_{12}$	-
T13	0	$\theta_{13}$	-
T14	0	$\theta_{14}$	-
T15	0	$\theta_{15}$	-
T16	0	$\theta_{16}$	-
T17	0	$\theta_{17}$	-
T18	0	$\theta_{18}$	-
T19	0	$\theta_{19}$	-
T20	0	$\theta_{20}$	-
T21	$0,5 \cdot T$	$\theta_{21}$	$0,5 \cdot \theta_{1d}$

### 3.5 Uji Kesesuaian

Uji kesesuaian dimaksudkan untuk melihat hasil respons simpangan yang didapatkan apakah telah sesuai/tidak. Setelah menentukan syarat batas pada tiap kondisi, yaitu kondisi *Spudding In* dan kondisi *Drilling*, maka respons *displacement* tiap *node* dapat dicari dengan menggunakan *Partitioning* Matriks.

$$\begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k1 & -k1 & 0 & 0 & 0 \\ -k2 & k1 + k2 & -k2 & 0 & 0 \\ 0 & -k2 & k2 + k3 & -k3 & 0 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 + k4 & -k4 \\ 0 & 0 & 0 & -k4 & k4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta1 \\ \theta2 \\ \theta3 \\ \theta4 \\ \theta5 \end{pmatrix}$$

**Gambar 3.5** Contoh Persamaan Gerak Drill Pipe dengan 4 elemen dan 5 buah *node*

Untuk menyelesaikan Persamaan Gerak di atas, Matriks Kekakuan Global perlu untuk di *partitioning* sehingga respons simpangan untuk *node* yang diketahui dapat dicari. Syarat batas pada kondisi *Spudding In* mengharuskan *node* terakhir bernilai 0 dan T1 merupakan torsi yang diberikan oleh *Top Drive*.

$$\begin{pmatrix} T1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k1 & -k1 & 0 & 0 & 0 \\ -k2 & k1 + k2 & -k2 & 0 & 0 \\ 0 & -k2 & k2 + k3 & -k3 & 0 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 + k4 & -k4 \\ 0 & 0 & 0 & -k4 & k4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta1 \\ \theta2 \\ \theta3 \\ \theta4 \\ \theta5 \end{pmatrix}$$

**Gambar 3.6** Contoh Persamaan Gerak Drill Pipe dengan 4 elemen dan 5 buah *node*

Gambar 3.6 Menunjukkan hasil Persamaan Gerak setelah dimasukkan syarat batas. Kemudian Matriks tersebut di *partitioning* berdasarkan syarat batas yang sudah dimasukkan menjadi seperti ini :

$$\begin{pmatrix} T1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k1 & -k1 & 0 & 0 \\ -k1 & k1 + k2 & -k2 & 0 \\ 0 & -k2 & k2 + k3 & -k3 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 + k4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta1 \\ \theta2 \\ \theta3 \\ \theta4 \end{pmatrix}$$

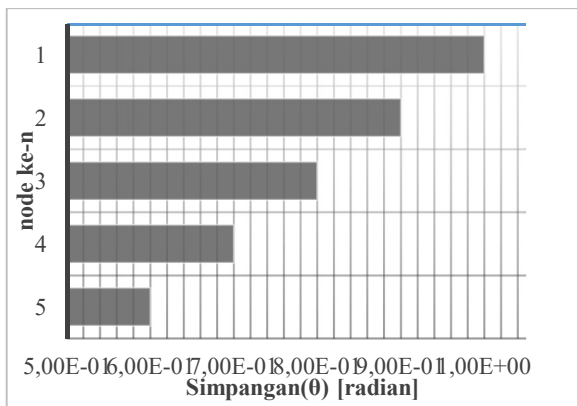
**Gambar 3.7** Sub Matriks hasil partitioning Gambar 3.6

Persamaan tersebut disusun ulang dan diselesaikan sehingga matriks respons simpangannya dapat dicari

$$\begin{pmatrix} k1 & -k1 & 0 & 0 \\ -k1 & k1 + k2 & -k2 & 0 \\ 0 & -k2 & k2 + k3 & -k3 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 + k4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} T1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta1 \\ \theta2 \\ \theta3 \\ \theta4 \end{pmatrix}$$

**Gambar 3.8** Penyelesaian Sub Matriks

Nilai respons *displacement* tiap *node* tersebut, kemudian dikembalikan ke Persamaan Kesetimbangan pada Gambar 3.5 agar didapatkan Matriks Reaksi Sistem.



**Gambar 3.9** Contoh respons simpangan

Dengan cara yang sama, respons simpangan untuk kondisi *Drilling* dapat dicari. Pada Gambar 3.9 dapat dilihat contoh respons

simpangan sistem Gambar 3.5. Pada rangkaian drill pipe yang bersusun vertikal, respons simpangannya tentu haruslah semakin ke bawah (menjauhi torsi yang diberikan) semakin kecil. Bila nilai yang didapat sebaliknya, maka baik Persamaan Kesetimbangan maupun syarat batas perlu ditinjau kembali. Setelah Persamaan Kesetimbangan ataupun syarat batas ditinjau kembali, respons simpangannya kembali di lihat kesesuaiannya. Bila telah sesuai, maka respons simpangan dan reaksi sistem dapat dianalisa.

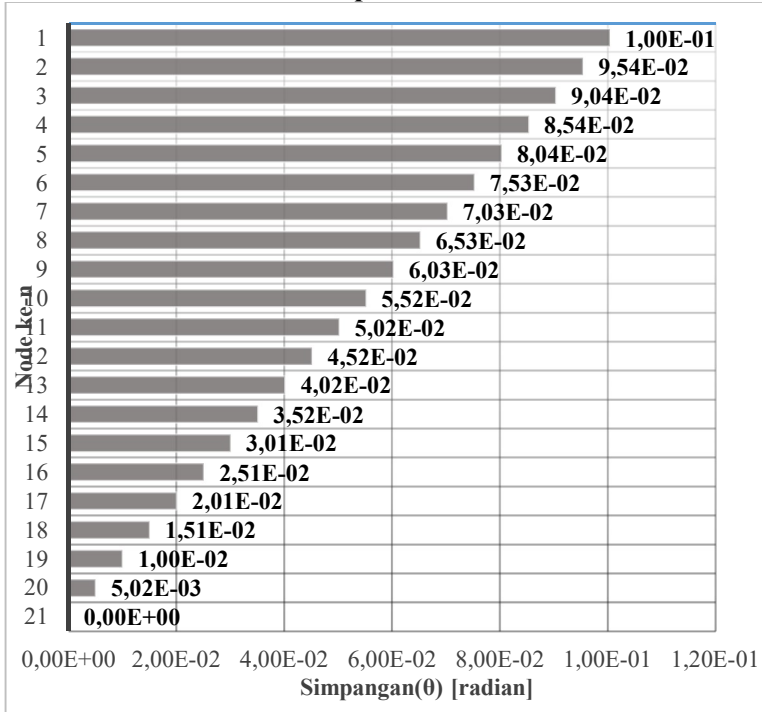
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



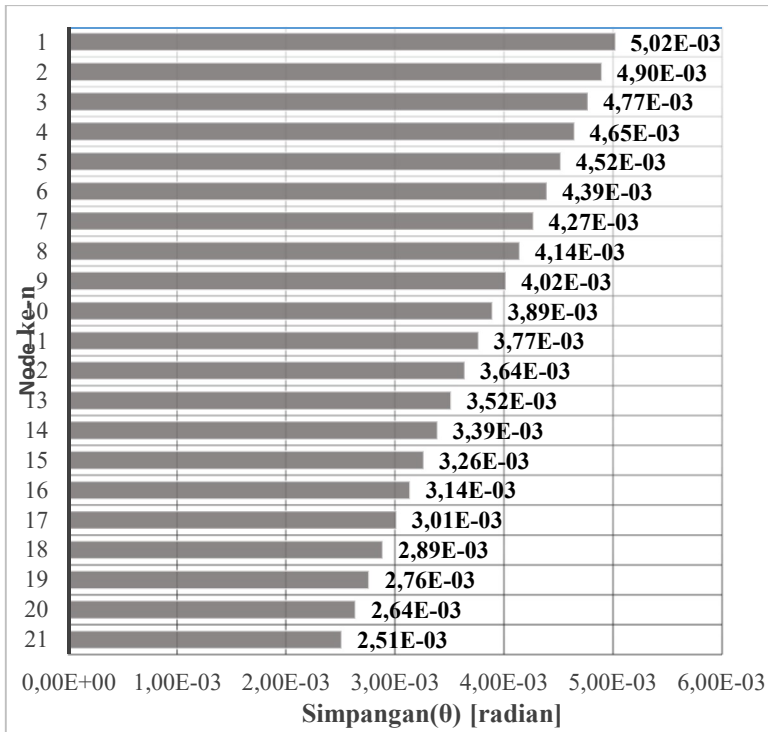
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang simulasi dari respons simpangan dan reaksi sistem terhadap beberapa variasi parameter pada proses pengeboran. Parameter internal *Drill Pipe* yaitu diameter, ketebalan, jenis bahan, dan panjangnya. Sedangkan parameter lain yaitu torsi yang diberikan oleh *Top Drive* dan kondisi pengeboran itu sendiri.

### 4.1 Variasi Diameter Drill Pipe

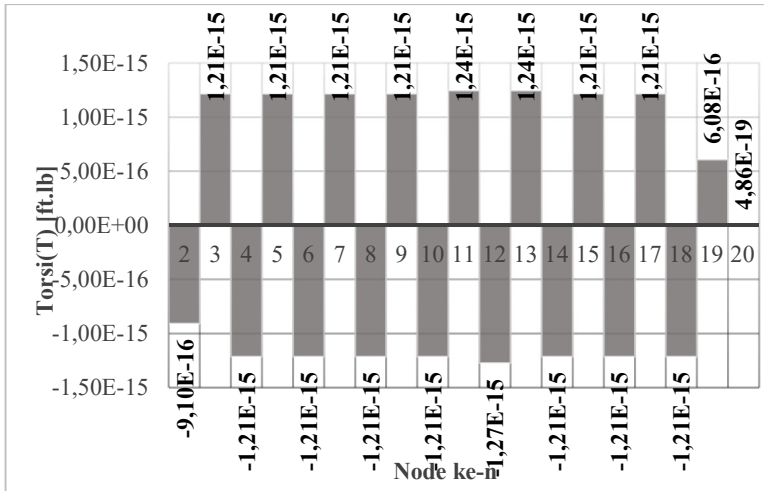


**Gambar 4.1** Respons Simpangan *Drill Pipe* 3,5” pada kondisi *Spudding In*

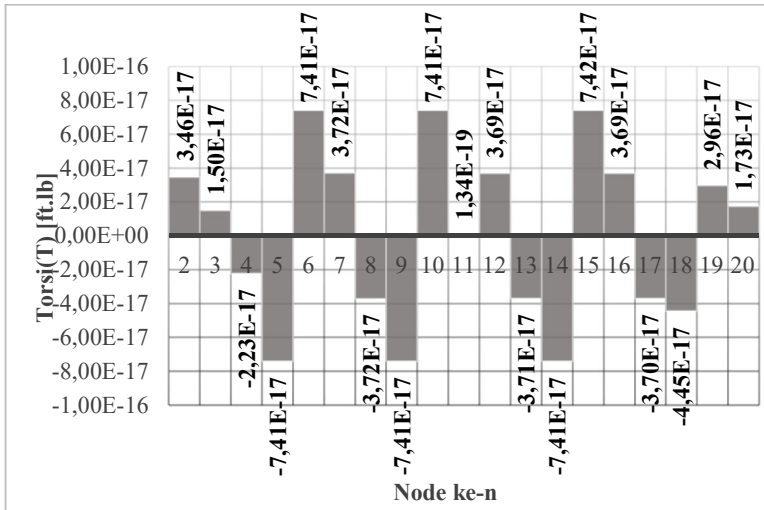


**Gambar 4.2** Respons Simpangan *Drill Pipe* 3,5" pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.1 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00502 rad & 0.00251 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

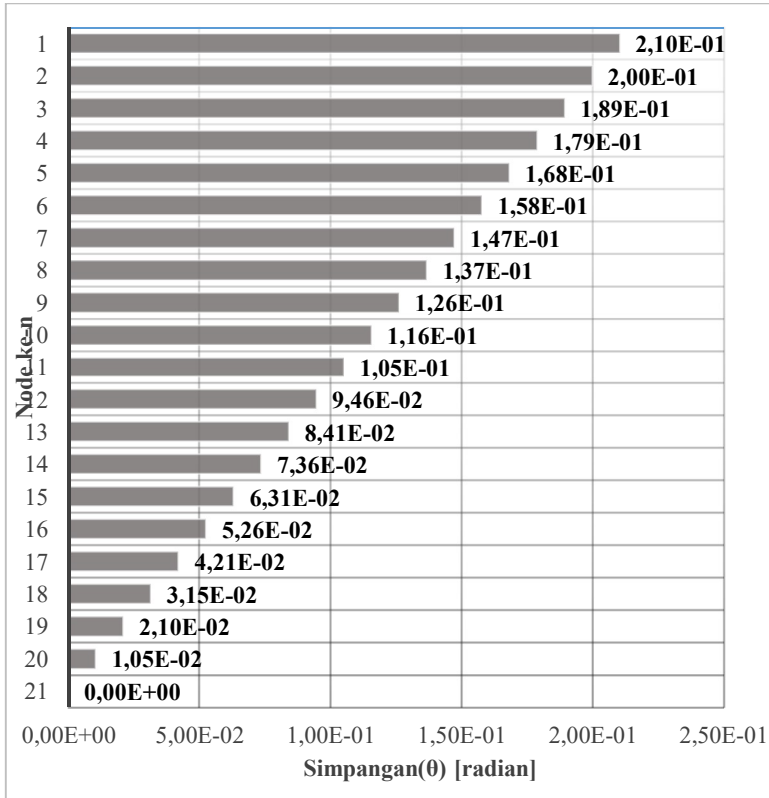


**Gambar 4.3** Reaksi *Drill Pipe 3,5"* pada kondisi *Spudding In*

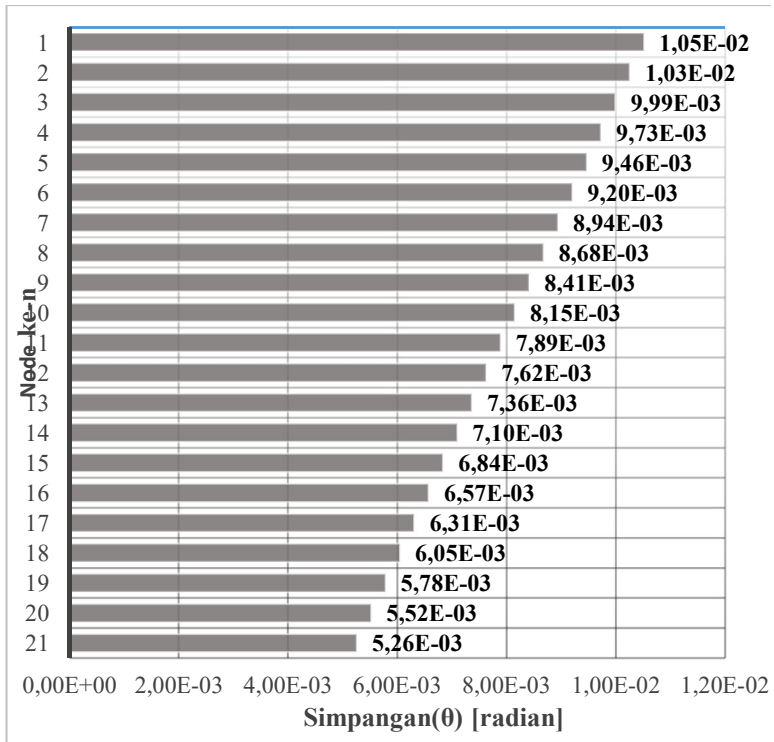


**Gambar 4.4** Reaksi *Drill Pipe 3,5"* pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 12 sebesar  $-1.27\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 15 sebesar  $7.42\text{E-}17$  ft.lb.

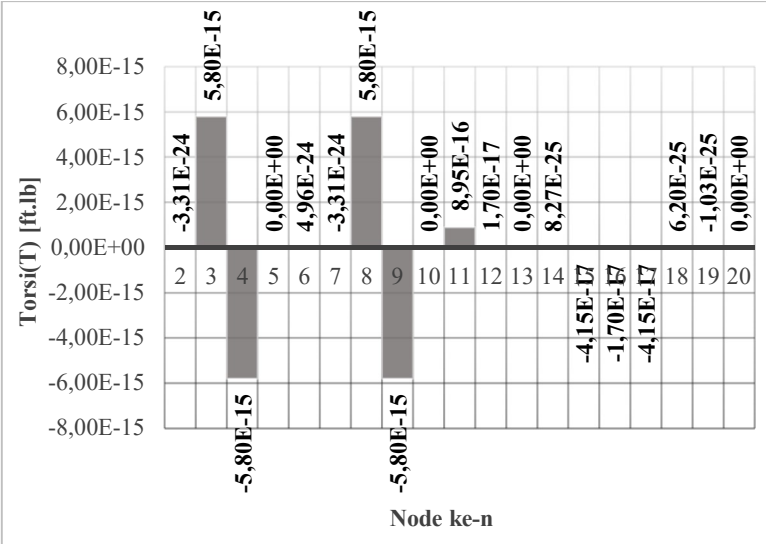


**Gambar 4.5** Respons Simpangan *Drill Pipe* 4” pada kondisi *Spudding In*

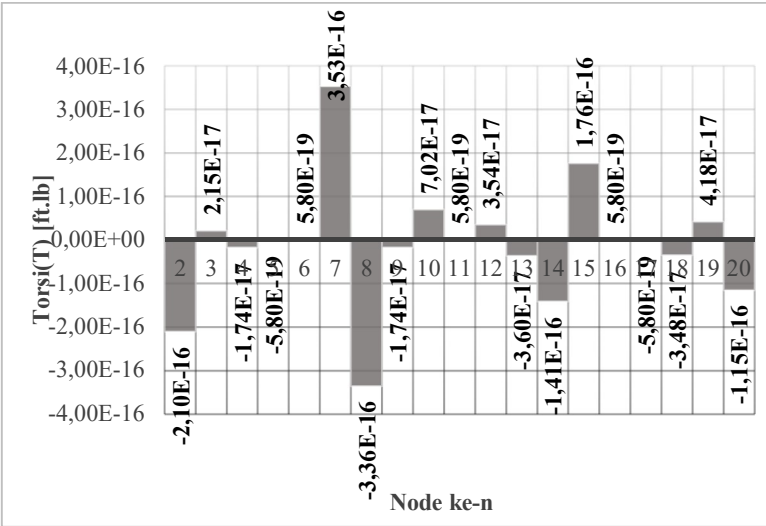


**Gambar 4.6** Respons Simpangan *Drill Pipe* 4” pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.210 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.0105 rad & 0.00526 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

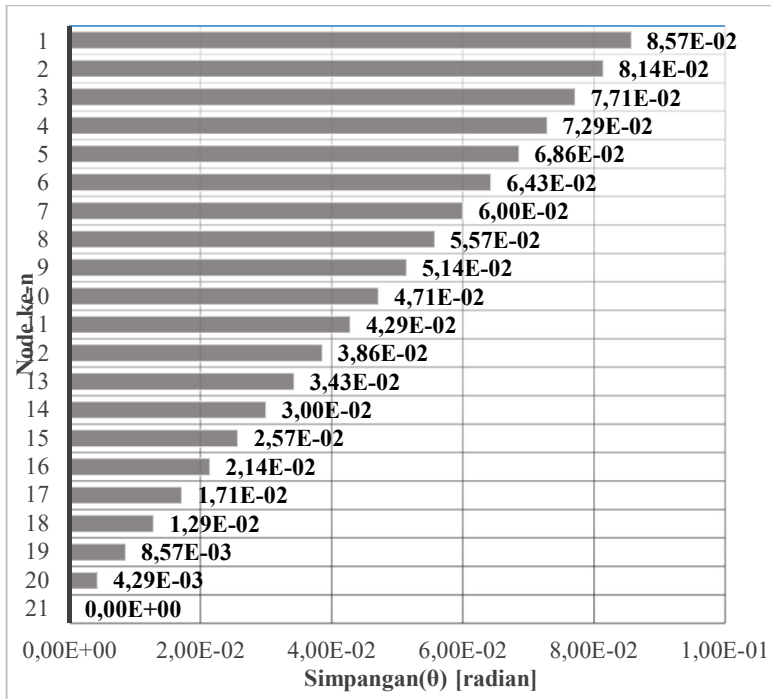


**Gambar 4.7** Reaksi Drill Pipe 4” pada kondisi *Spudding In*

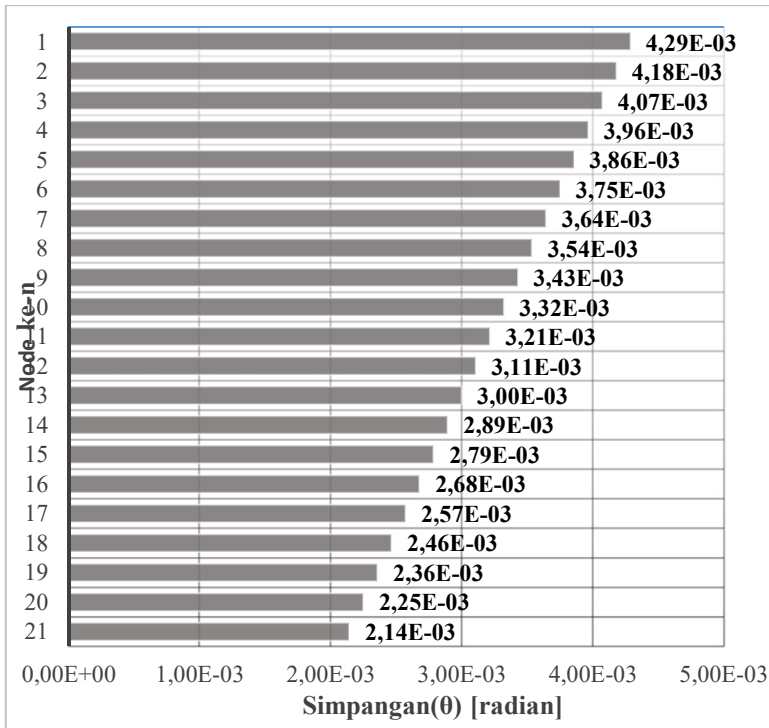


**Gambar 4.8** Reaksi Drill Pipe 4” pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 3* sebesar  $5.80\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 7* sebesar  $3.53\text{E-}16$  ft.lb.



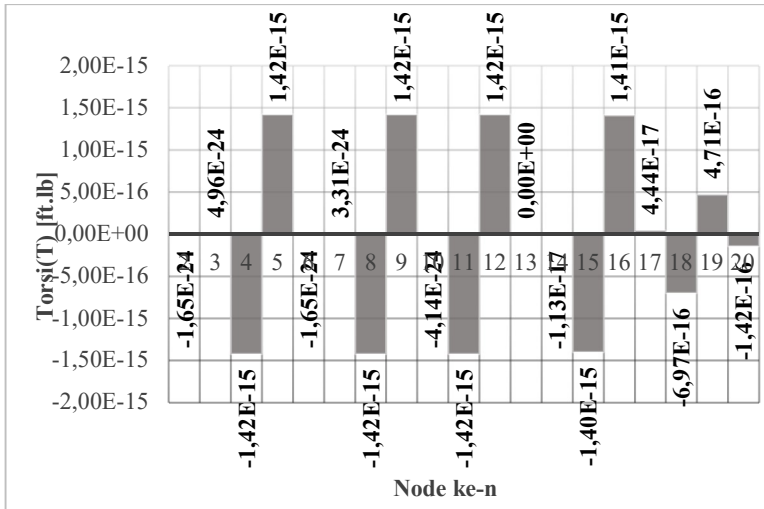
**Gambar 4.9** Respons Simpangan *Drill Pipe 4,5"* pada (a) kondisi *Spudding In*



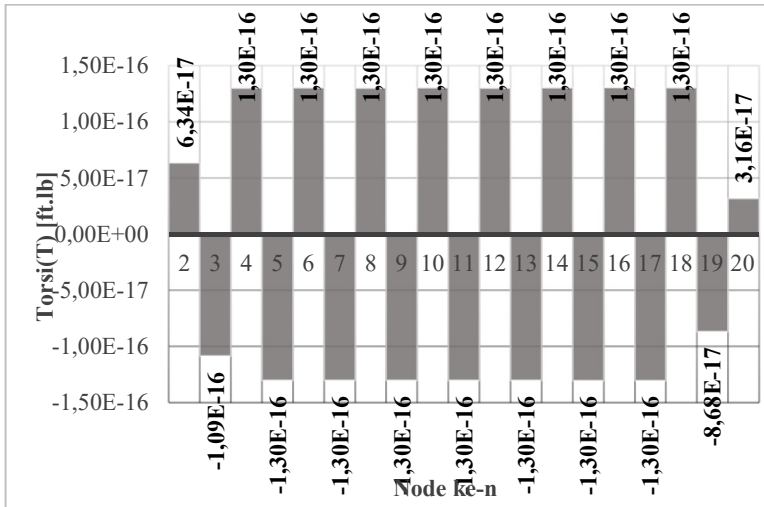
**Gambar 4.10** Respons Simpangan *Drill Pipe* 4,5” pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0857 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00429 rad & 0.00214 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.



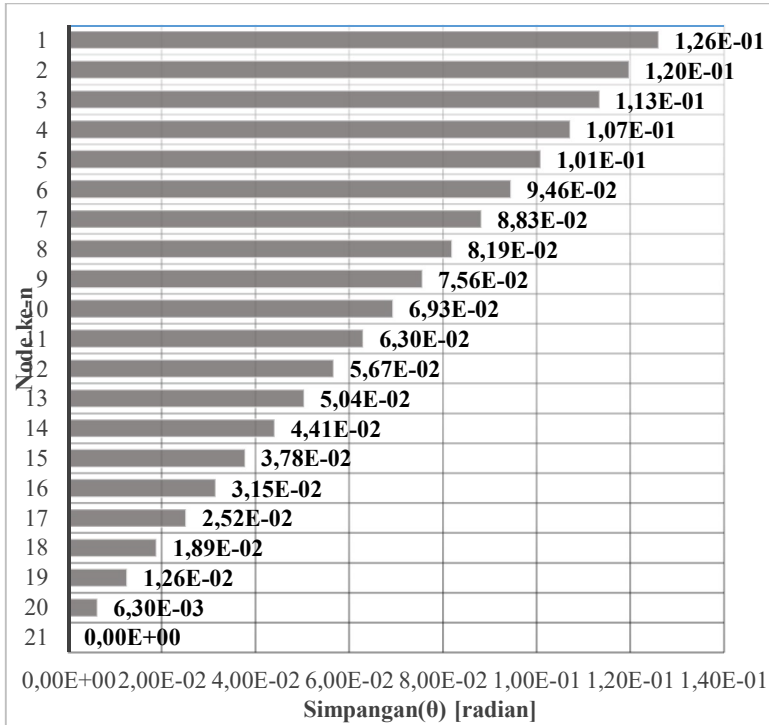


**Gambar 4.11** Reaksi *Drill Pipe* 4,5" pada (a) kondisi *Spudding In*

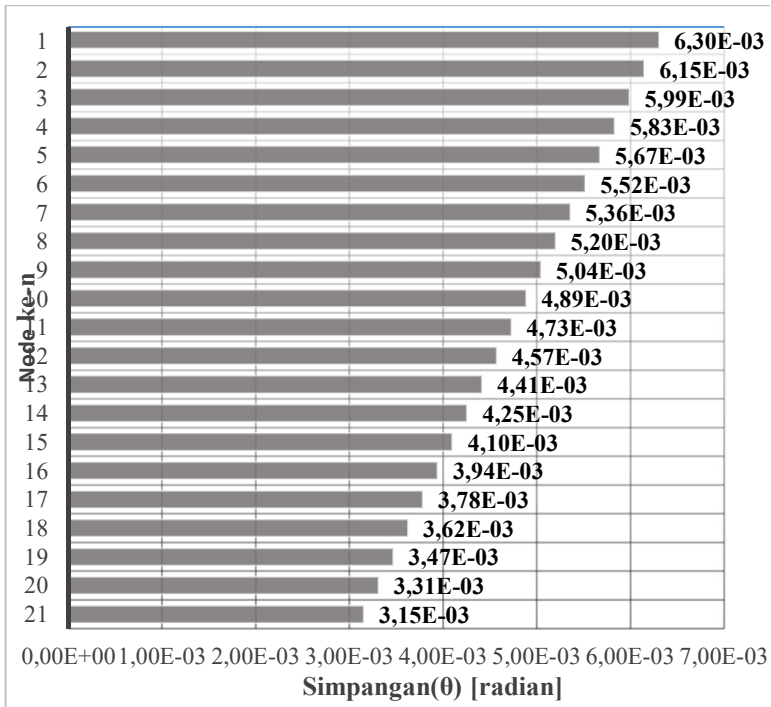


**Gambar 4.12** Reaksi *Drill Pipe* 4,5" pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 9 sebesar  $1.42\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 16 sebesar  $1.30\text{E-}16$  ft.lb.

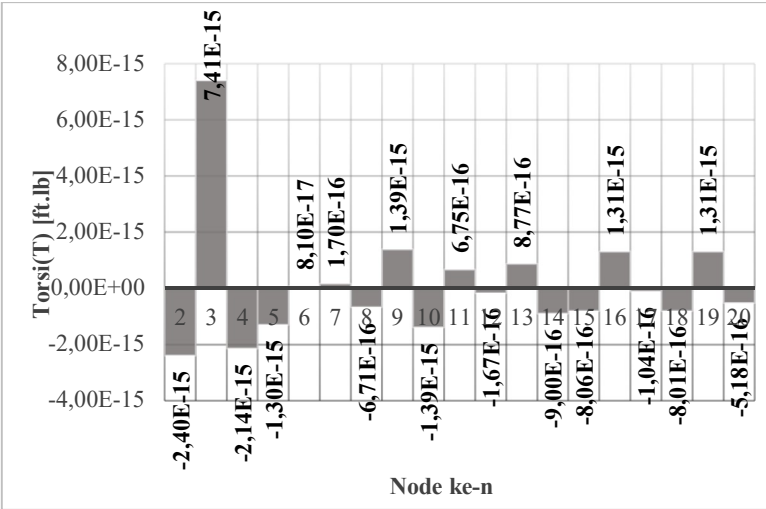


**Gambar 4.13** Respons Simpangan Drill Pipe 5” pada kondisi *Spudding In*

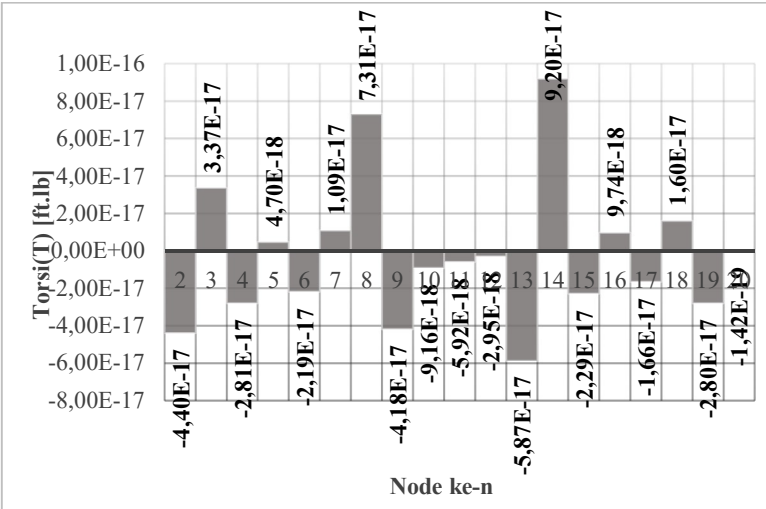


**Gambar 4.14** Respons Simpangan *Drill Pipe 5"* pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.126 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.0063 rad & 0.00315 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

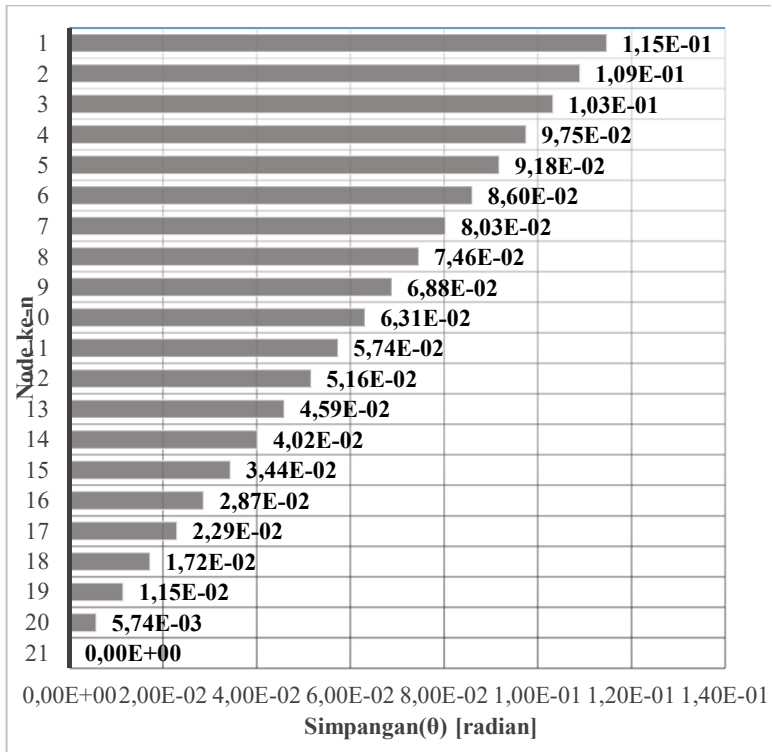


**Gambar 4.15** Reaksi *Drill Pipe 5"* pada kondisi *Spudding In*

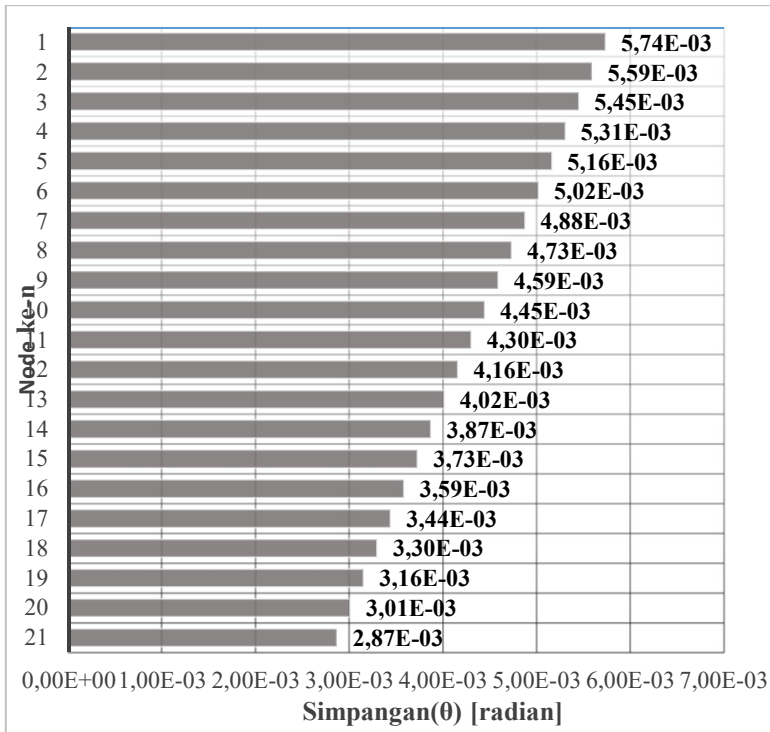


**Gambar 4.16** Reaksi *Drill Pipe 5"* pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 3* sebesar  $7.41\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 14* sebesar  $9.20\text{E-}17$  ft.lb.

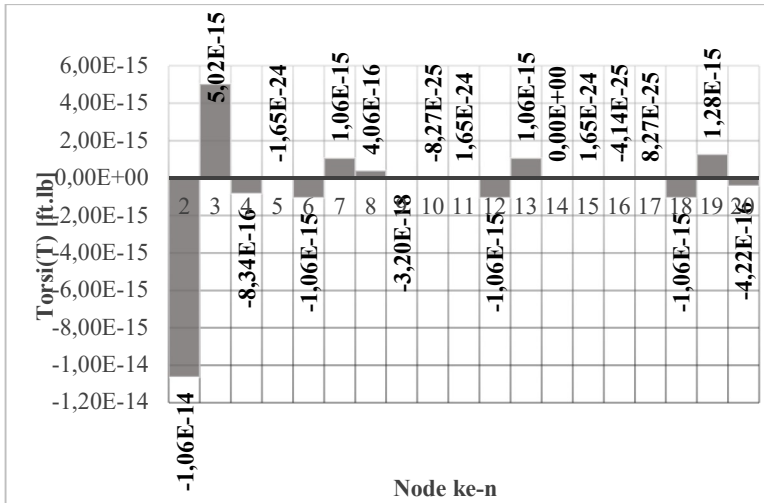


**Gambar 4.17** Respons Simpangan *Drill Pipe 5,5"* pada kondisi *Spudding In*

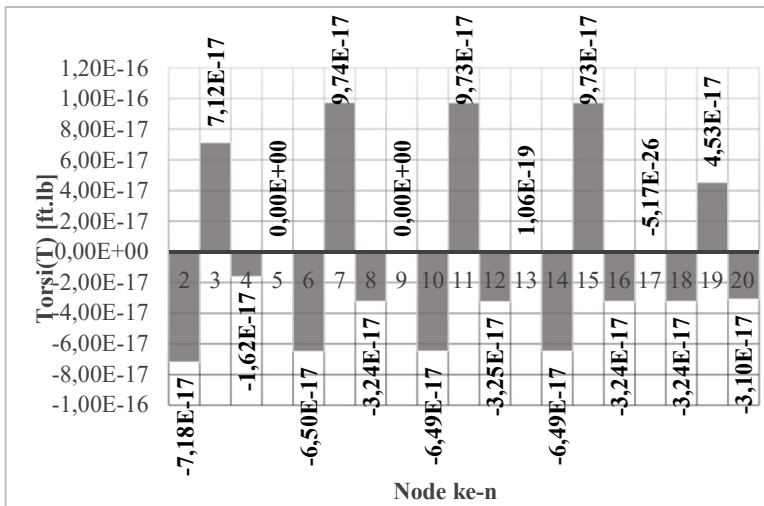


**Gambar 4.18** Respons Simpangan *Drill Pipe 5,5"* pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.115 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00574 rad & 0.00287 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

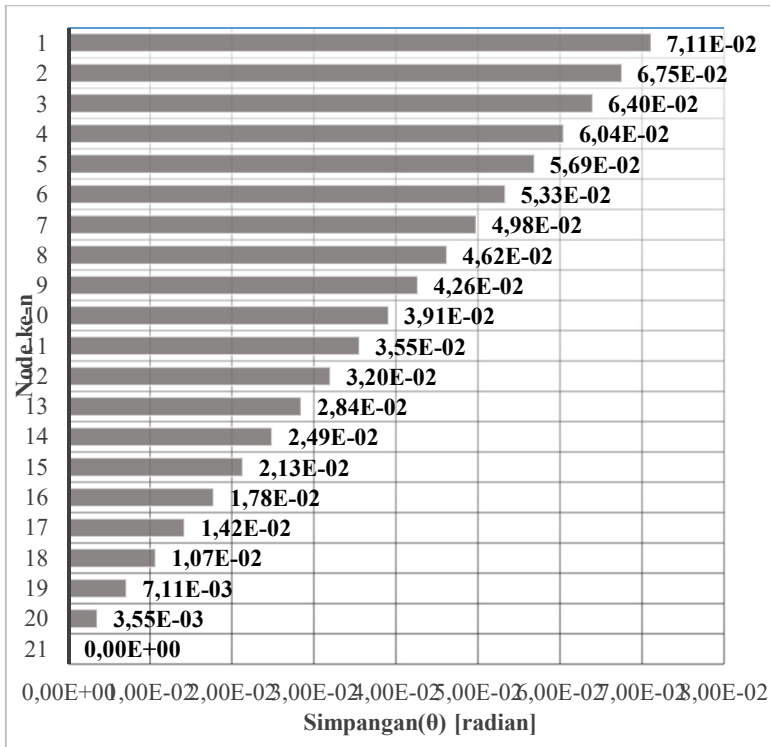


**Gambar 4.19** Reaksi *Drill Pipe 5,5"* pada kondisi *Spudding In*



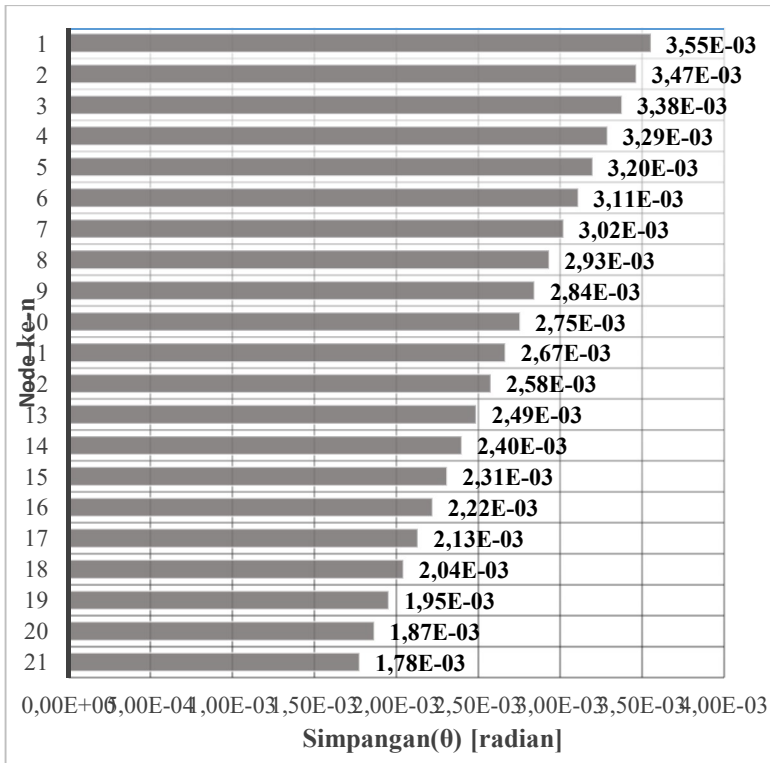
**Gambar 4.20** Reaksi *Drill Pipe 5,5"* pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 2 sebesar  $-1.06\text{E-}14$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 7 sebesar  $9.74\text{E-}17$  ft.lb.



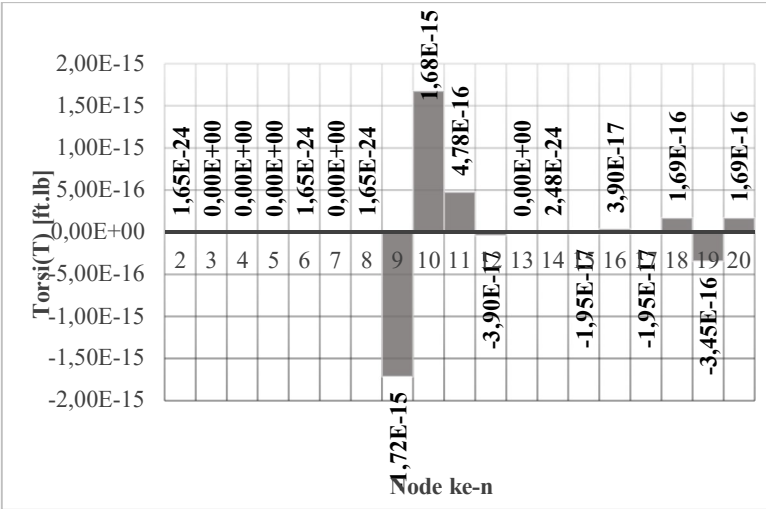
**Gambar 4.21** Respons Simpangan *Drill Pipe* 5,875'' pada kondisi *Spudding In*



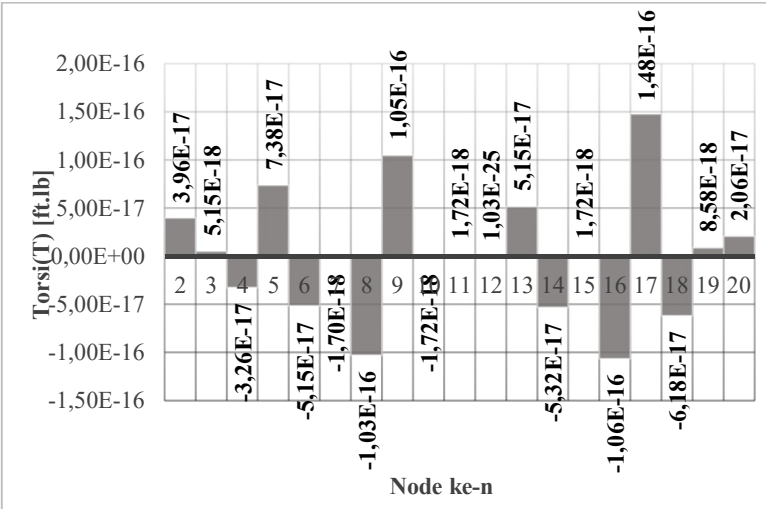


**Gambar 4.22** Respons Simpangan *Drill Pipe* 5,875” pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0711 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00355 rad & 0.00178 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

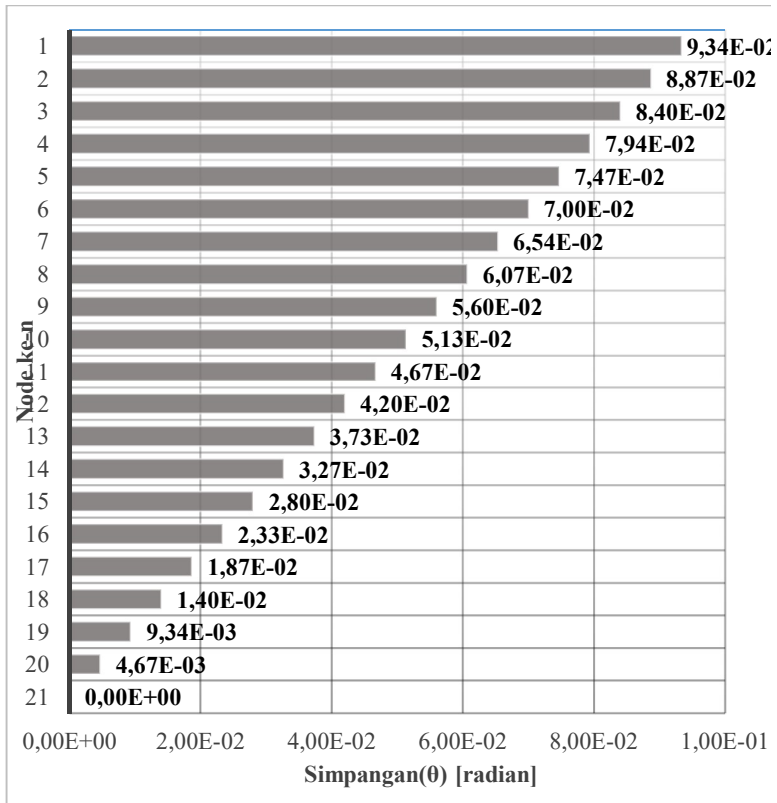


**Gambar 4.23** Reaksi *Drill Pipe* 5,875” pada kondisi *Spudding In*

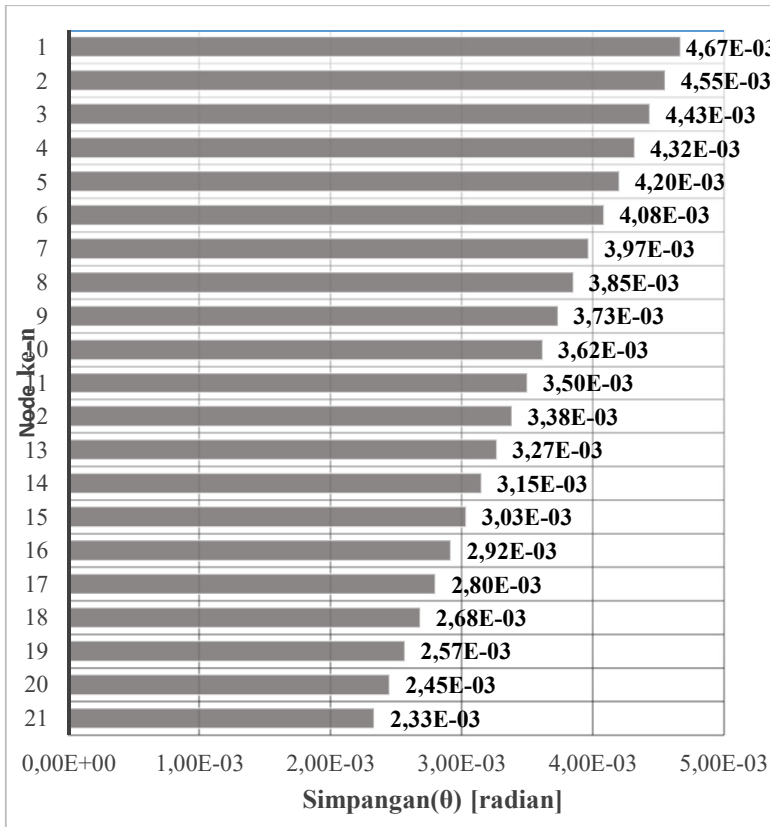


**Gambar 4.24** Reaksi *Drill Pipe* 5,875” pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 9 sebesar  $-1.725\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 17 sebesar  $1.48\text{E-}16$  ft.lb.

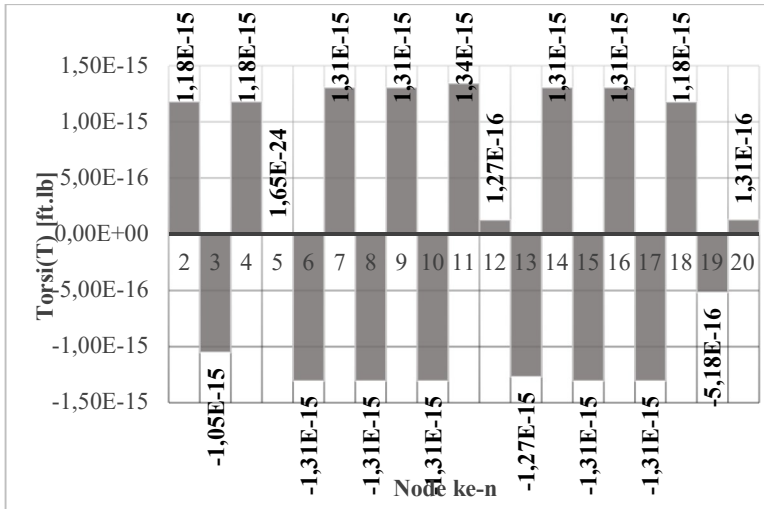


**Gambar 4.25** Respons Simpangan *Drill Pipe* 6,625” pada kondisi *Spudding In*

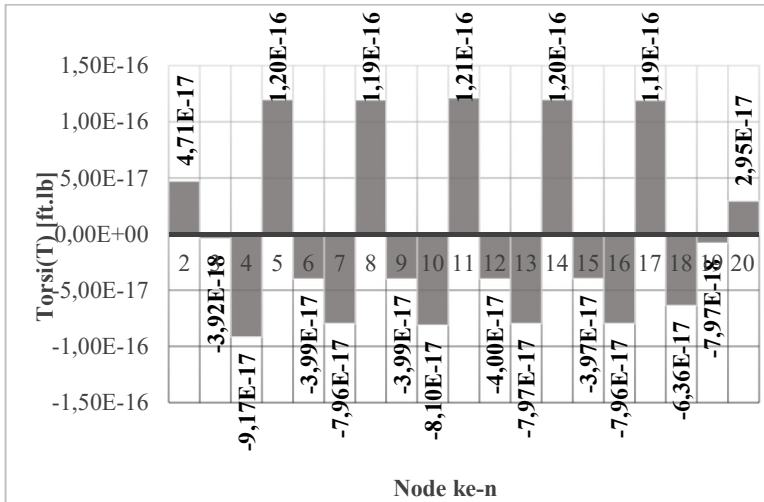


**Gambar 4.26** Respons Simpangan *Drill Pipe* 6,625” pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0934 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00467 rad & 0.0023 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

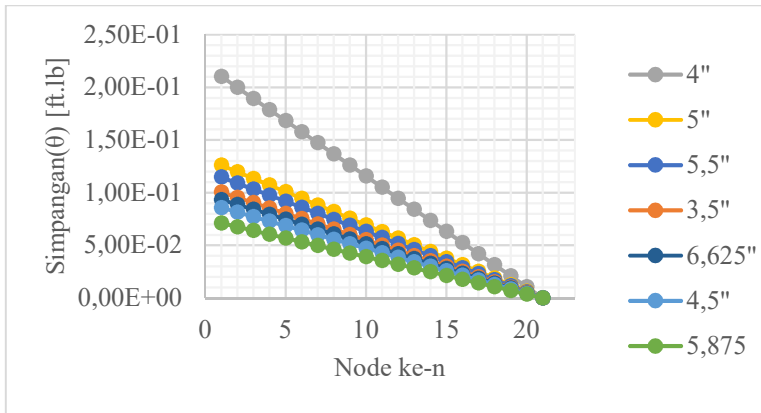


**Gambar 4.27** Reaksi Drill Pipe 6,625" pada kondisi *Spudding In*

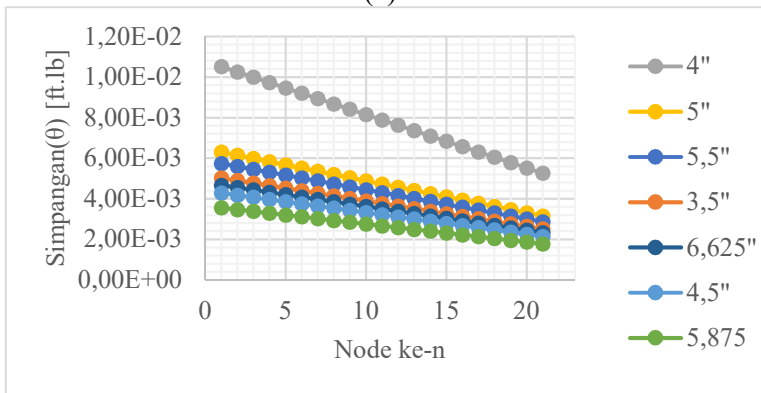


**Gambar 4.28** Reaksi Drill Pipe 6,625" pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 11 sebesar  $1.34\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 11 sebesar  $1.21\text{E-}16$  ft.lb.



(a)

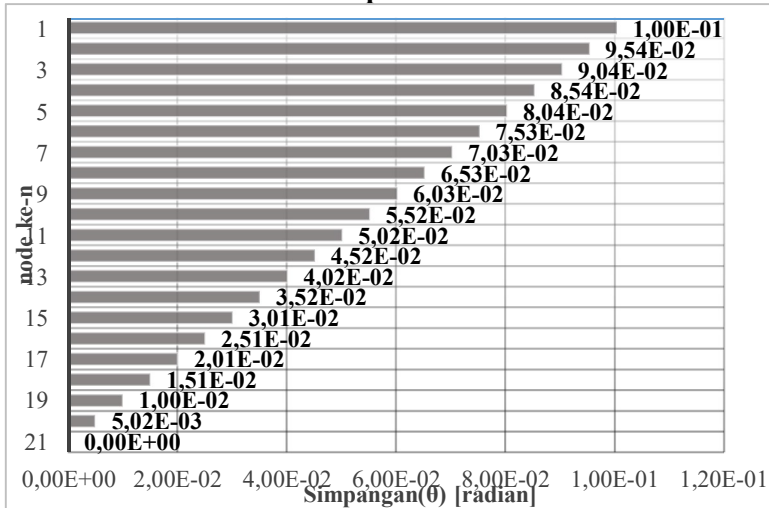


(b)

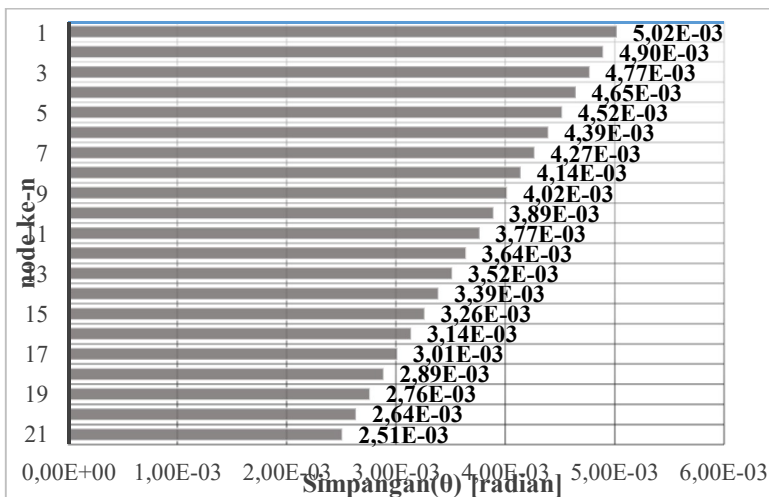
**Gambar 4.29** Perbandingan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan berbagai variasi diameter pada (a) kondisi *Spudding In* (b) kondisi *Drilling*

Dari Gambar 4.29 dapat dilihat perbandingan variasi diameter yang disimulasikan, respons simpangan terbesar terjadi pada diameter *Drill Pipe* 4" dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 3 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 7 pada kondisi *Drilling*. Kemudian respons simpangan terkecil terjadi pada diameter *Drill Pipe* 5,875" dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 9 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 17 pada kondisi *Drilling*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin besar diameternya, maka tren respons simpangannya akan mengecil, pengecualian pada diameter 3,5" dan 6,625" yang respons simpangannya lebih merata pada seluruh *nodenya*.

## 4.2 Variasi Ketebalan Drill Pipe



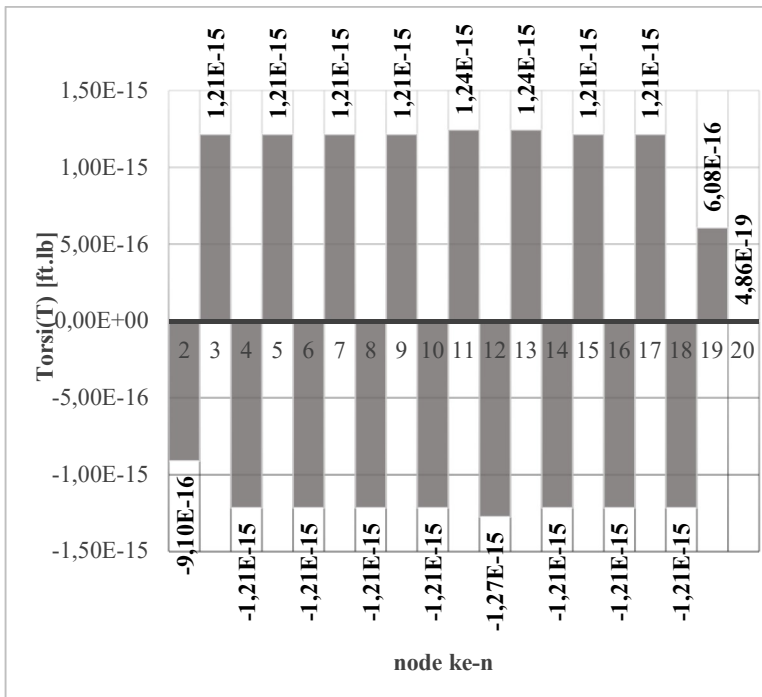
**Gambar 4.30** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0.898" pada kondisi *Spudding In*



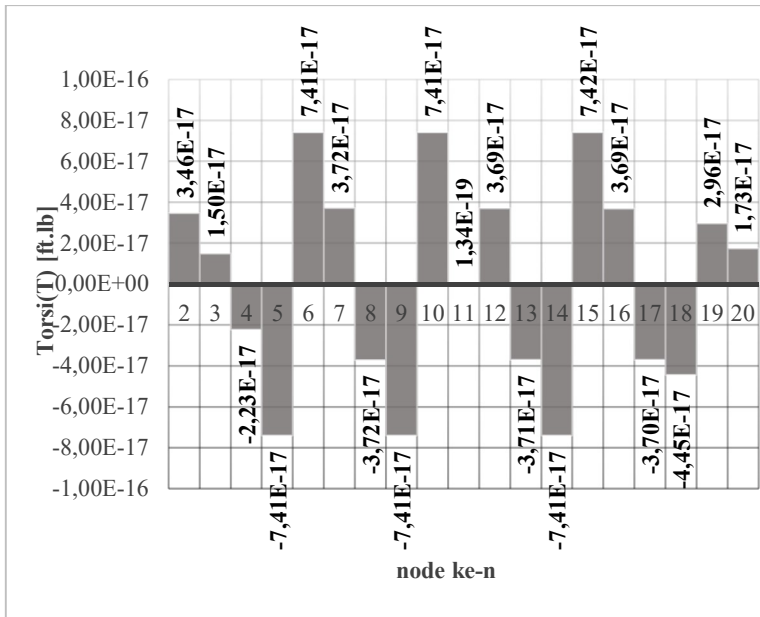
**Gambar 4.31** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0.898" pada kondisi *Drilling*



Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.1 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00502 rad & 0.00251 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

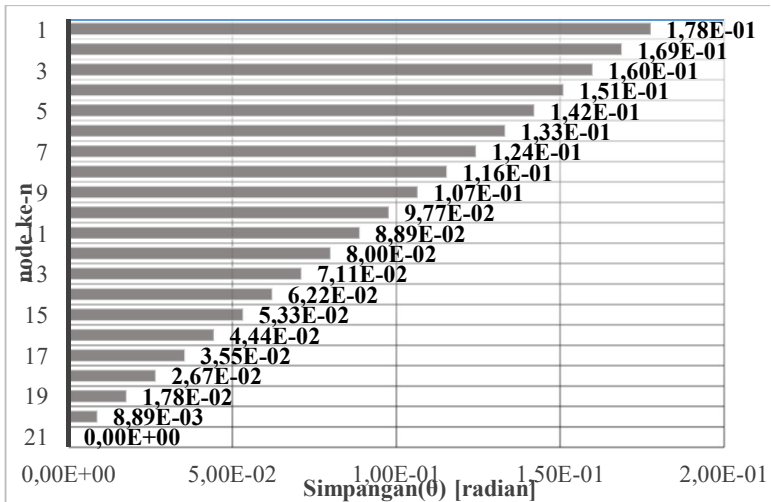


**Gambar 4.32** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,898“ pada kondisi *Spudding In*

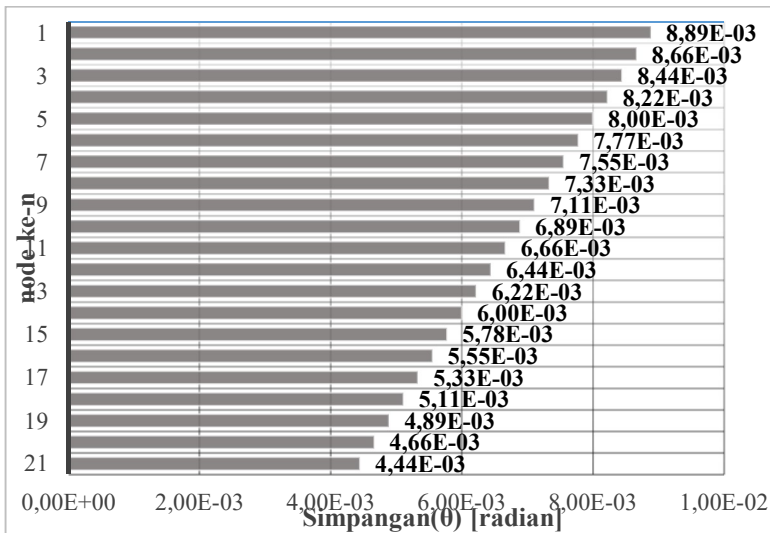


**Gambar 4.33** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,898“ pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 12 sebesar  $-1.27 \times 10^{-15}$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 15 sebesar  $7.42 \times 10^{-17}$  ft.lb.

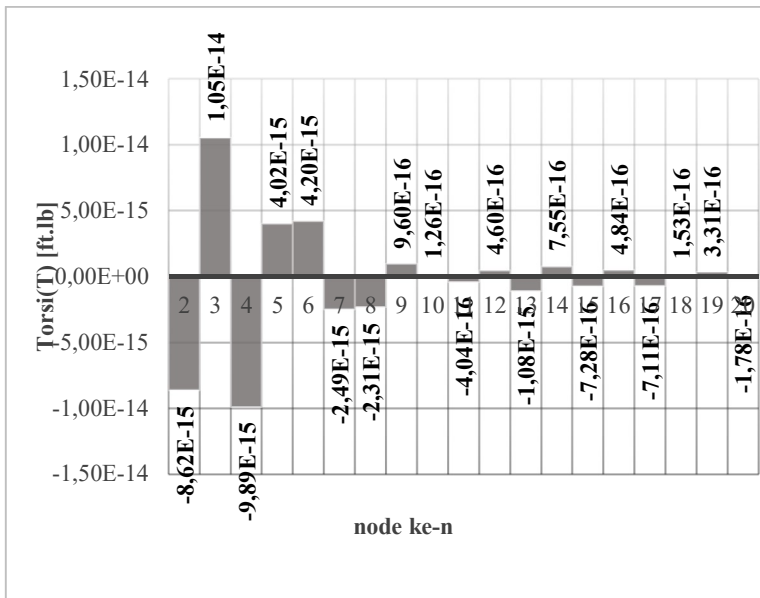


**Gambar 4.34** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,736" pada kondisi *Spudding In*

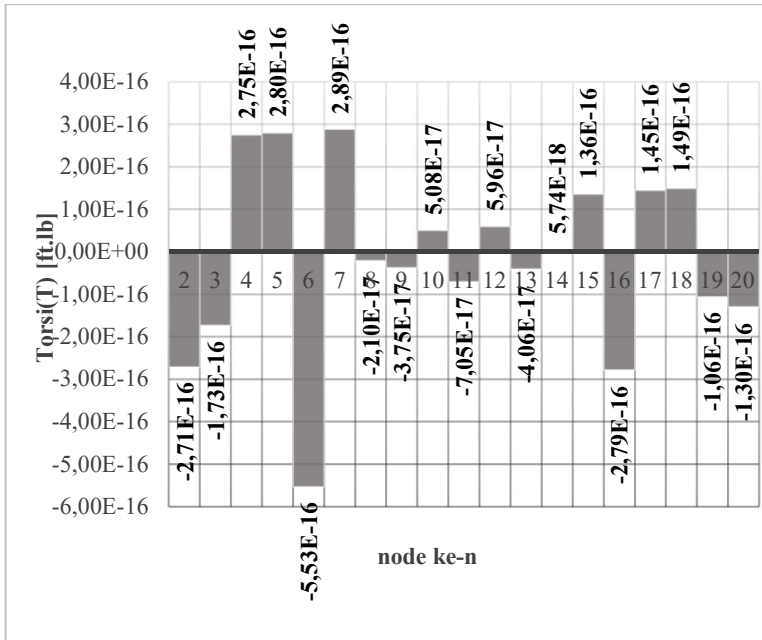


**Gambar 4.35** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,736" pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.178 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00889 rad & 0.0044 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

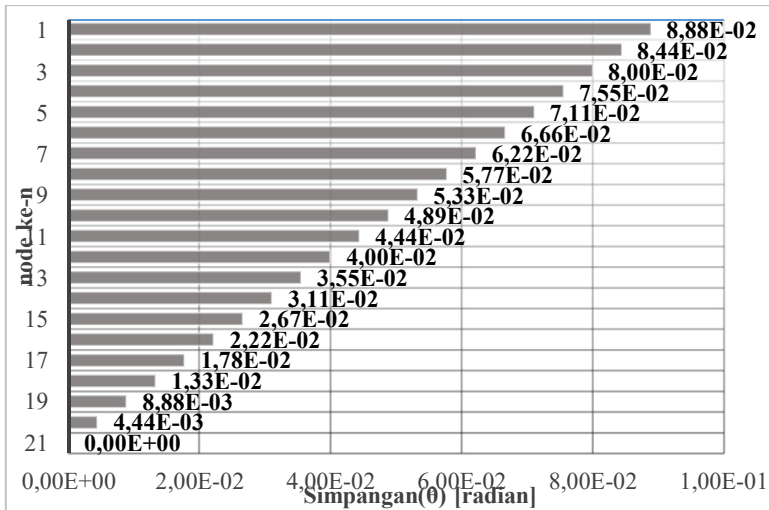


**Gambar 4.36** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,736“ pada kondisi *Spudding In*

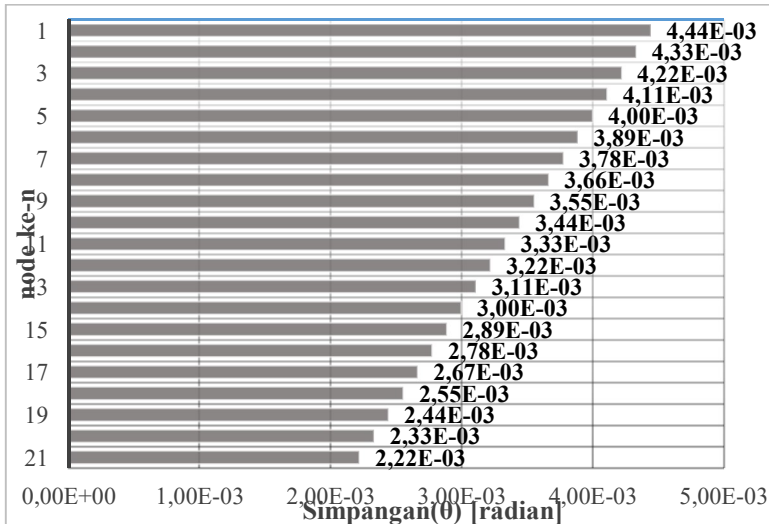


**Gambar 4.37** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,736" pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 3* sebesar 1.05E-14ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 6* sebesar -5.53E-16ft.lb.

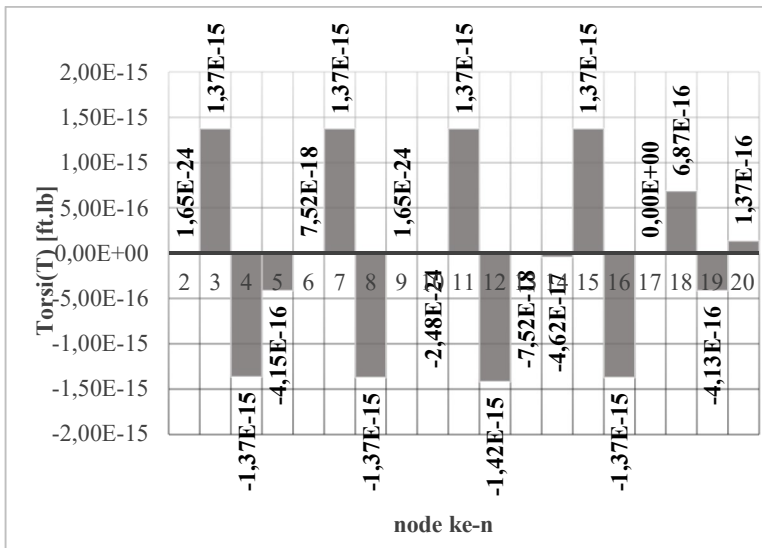


**Gambar 4.38** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,9375" pada kondisi *Spudding In*

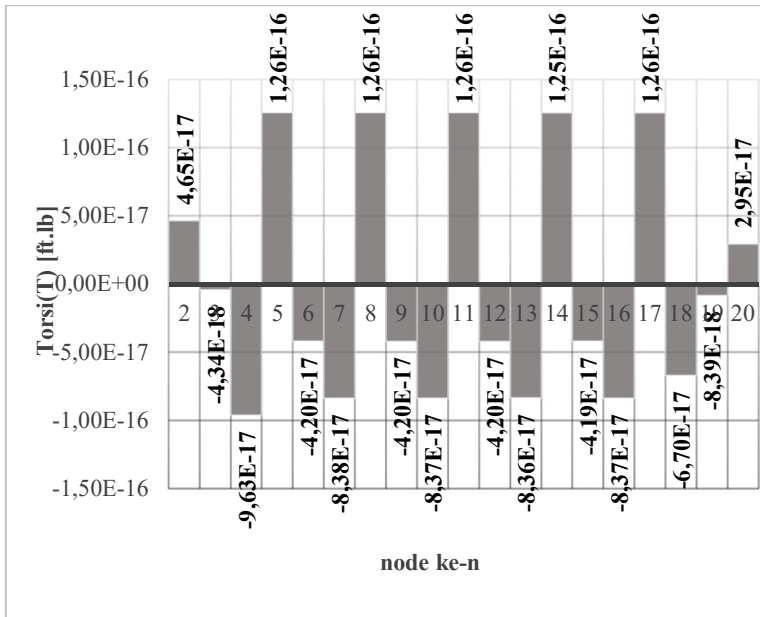


**Gambar 4.39** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,9375" pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0888 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00444 rad & 0.00222 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.



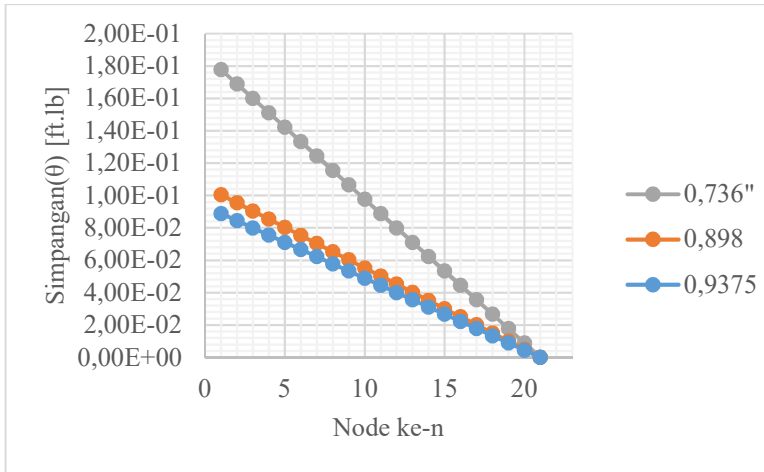
**Gambar 4.40** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi *Spudding In*



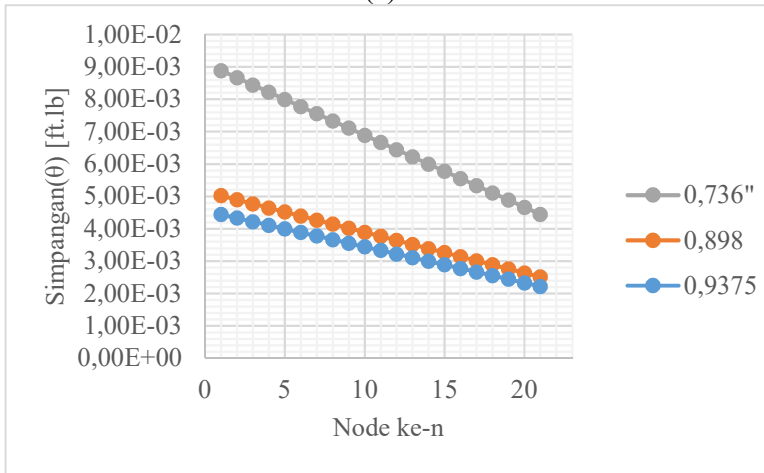
**Gambar 4.41** Reaksi *Drill Pipe* dengan ketebalan 0,9375“ pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 12 sebesar  $-1.42\text{E-}15\text{ft.lb}$ . Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 8 sebesar  $1.26\text{E-}16\text{ft.lb}$ .





(a)

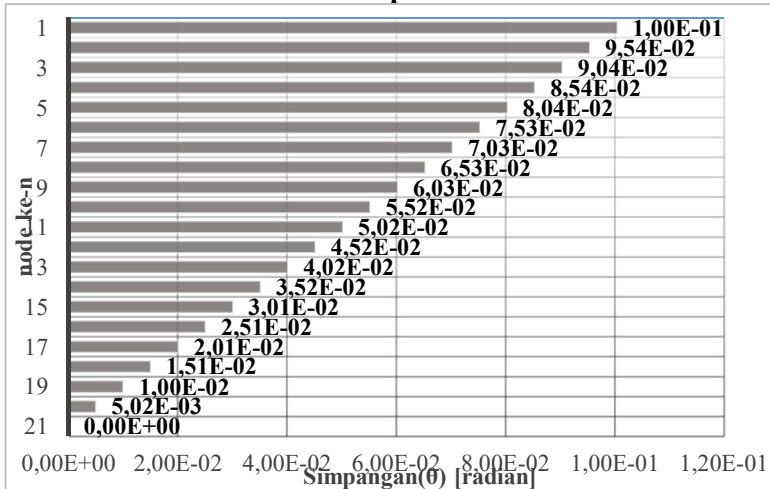


(b)

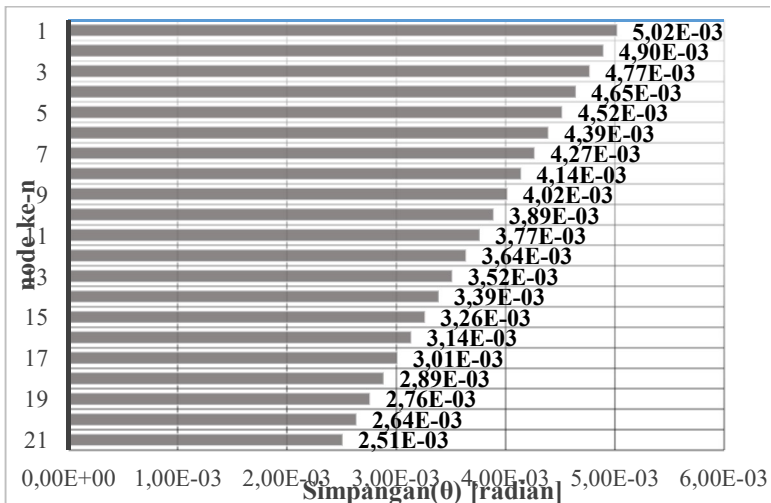
**Gambar 4.42** Perbandingan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan berbagai variasi ketebalan pada (a) kondisi *Spudding In* (b) kondisi *Drilling*

Dari Gambar 4.42 dapat dilihat variasi ketebalan dinding *Drill Pipe* yang disimulasikan, respons simpangan terbesar terjadi pada ketebalan 0,736" dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node 3* untuk kondisi *Spudding In* dan *node 6* pada kondisi *Drilling*. Kemudian respons simpangan terkecil terjadi pada ketebalan 0,9375" dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node 12* untuk kondisi *Spudding In* dan *node 8* pada kondisi *Drilling*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin tebal dinding *Drill Pipe*, maka respons simpangannya akan mengecil.

### 4.3 Variasi Jenis Bahan Drill Pipe

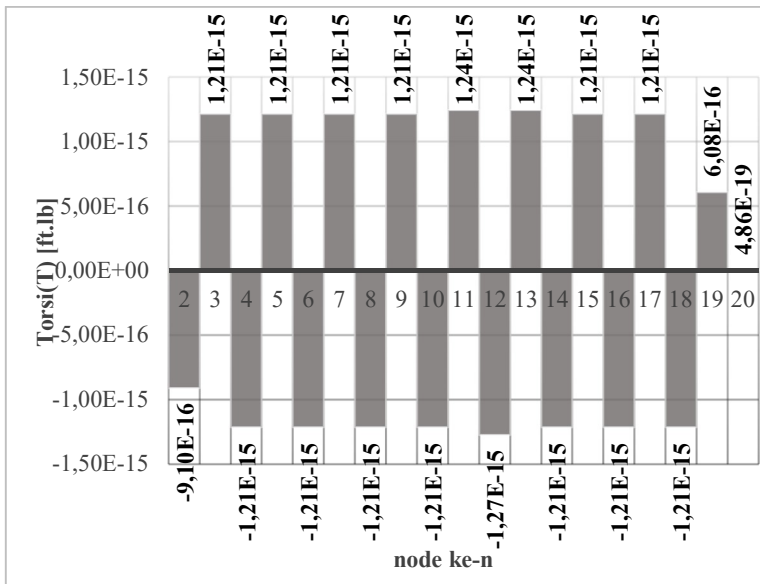


**Gambar 4.43** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan *Stainless Steel* pada kondisi *Spudding In*

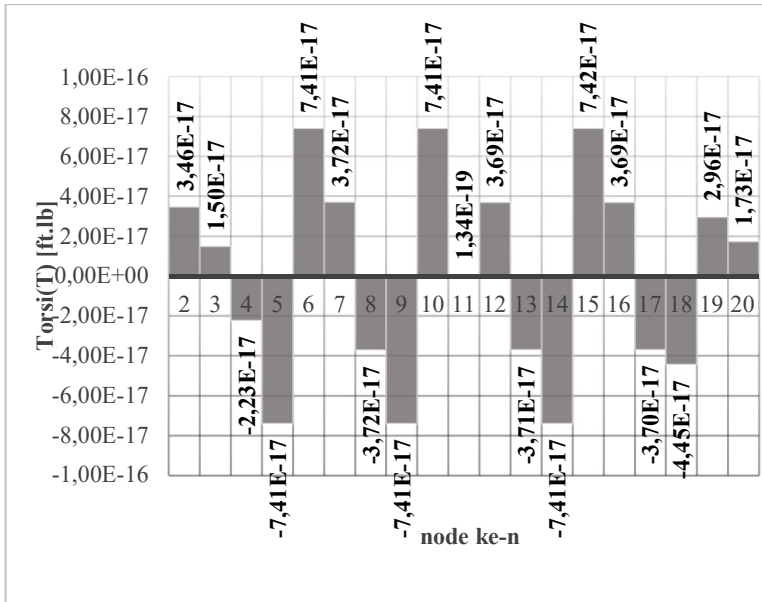


**Gambar 4.44** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan *Stainless Steel* pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.44 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.1 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00502 rad & 0.00251 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

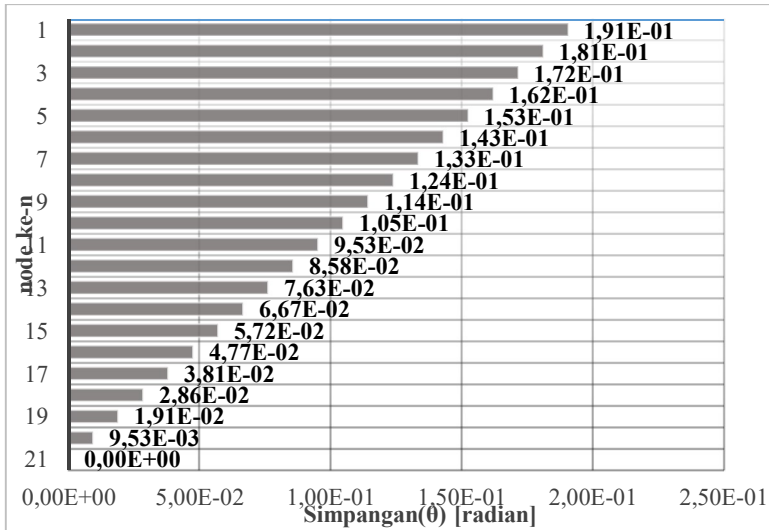


**Gambar 4.45** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan *Stainless Steel* pada kondisi *Spudding In*

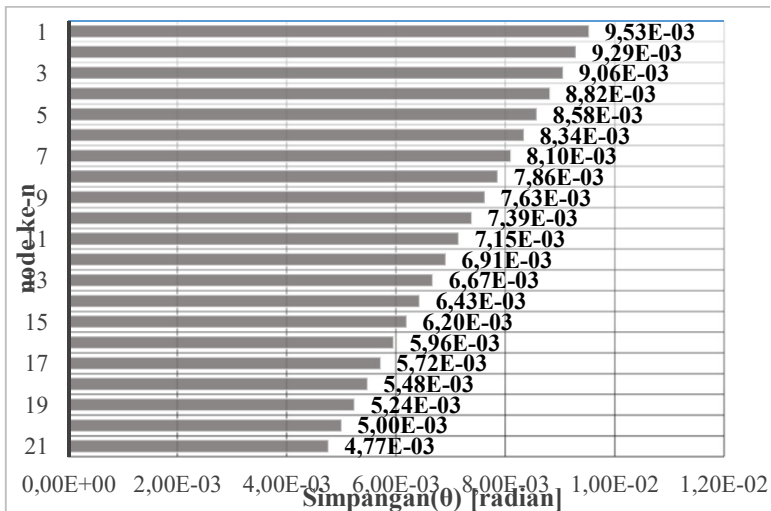


**Gambar 4.46** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan *Stainless Steel* pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.45 dan Gambar 4.46 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 12* sebesar  $-1.27\text{E-}15\text{ft.lb}$ . Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 15* sebesar  $7.42\text{E-}17\text{ft.lb}$ .

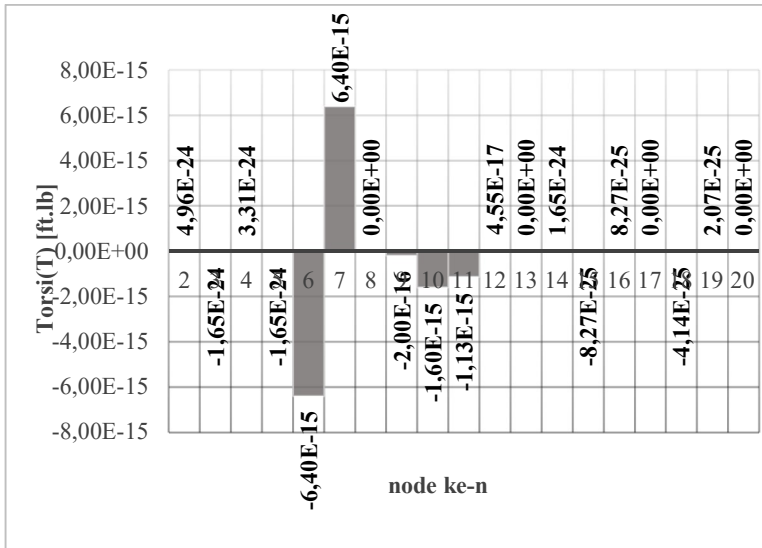


**Gambar 4.47** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan Titanium pada kondisi *Spudding In*

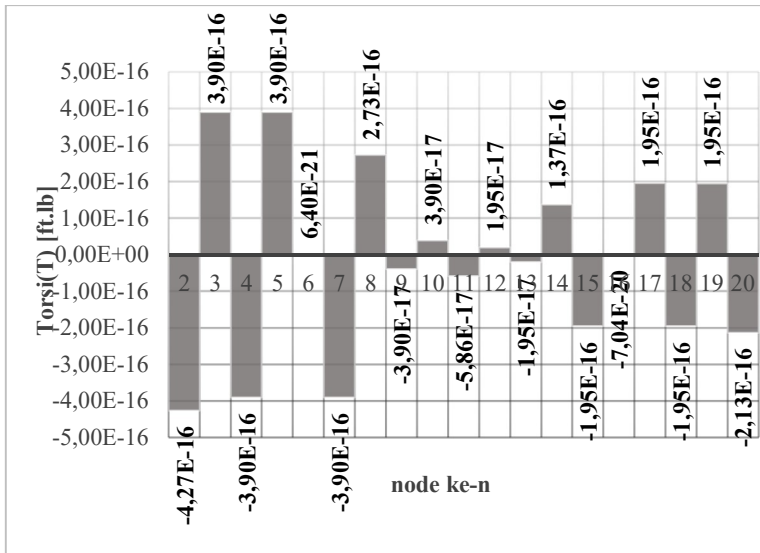


**Gambar 4.48** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan Titanium pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.47 dan Gambar 4.48 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.191 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00953 rad & 0.00477 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.



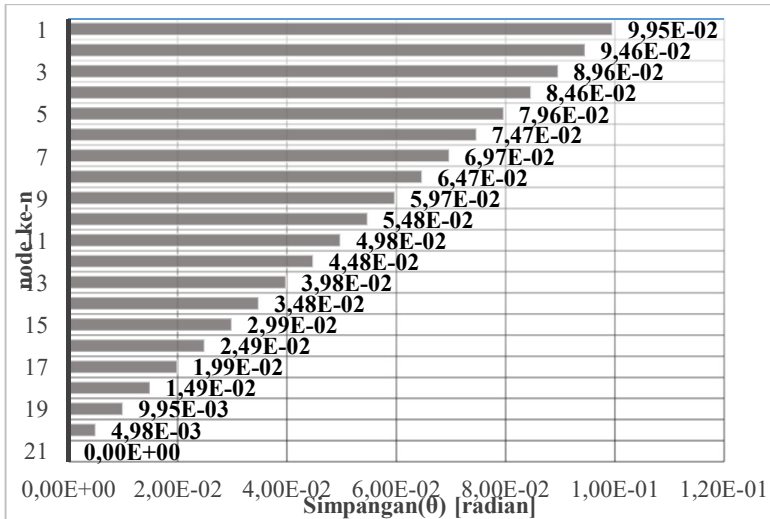
**Gambar 4.49** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan Titanium pada kondisi *Spudding In*



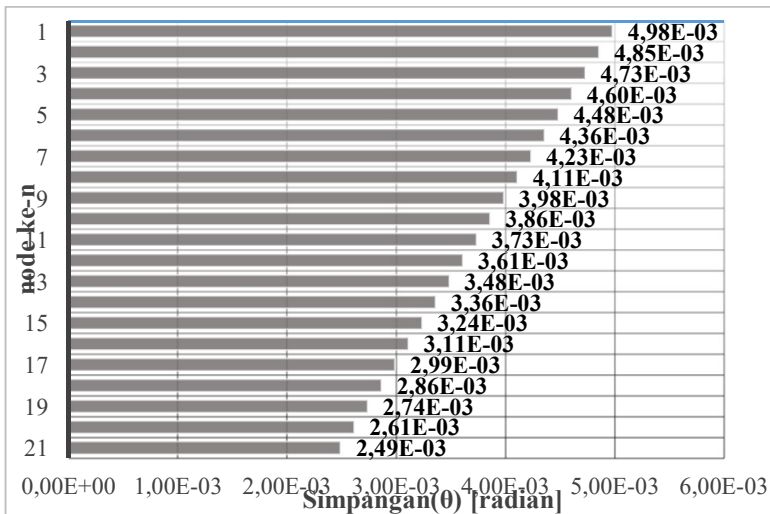
**Gambar 4.50** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan Titanium pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.49 dan Gambar 4.50 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 7* sebesar 6.40E-15ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 2* sebesar -4.27E-16ft.lb.



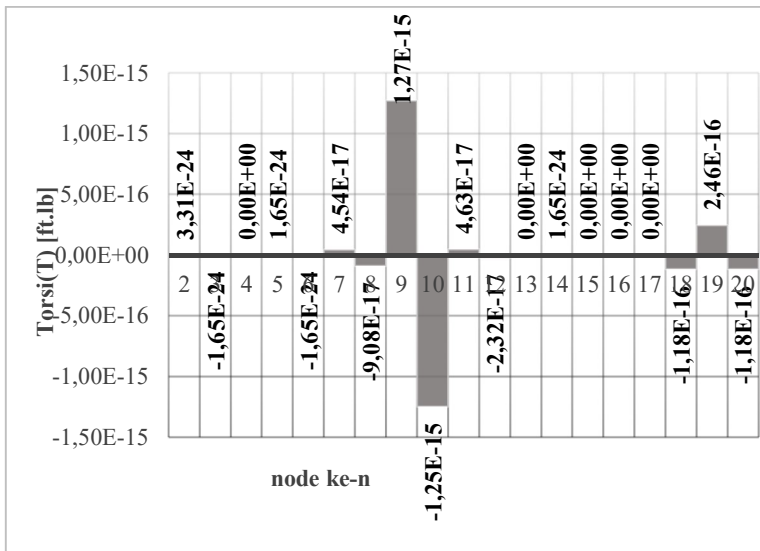


**Gambar 4.51** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan *Steel Cast* pada kondisi *Spudding In*

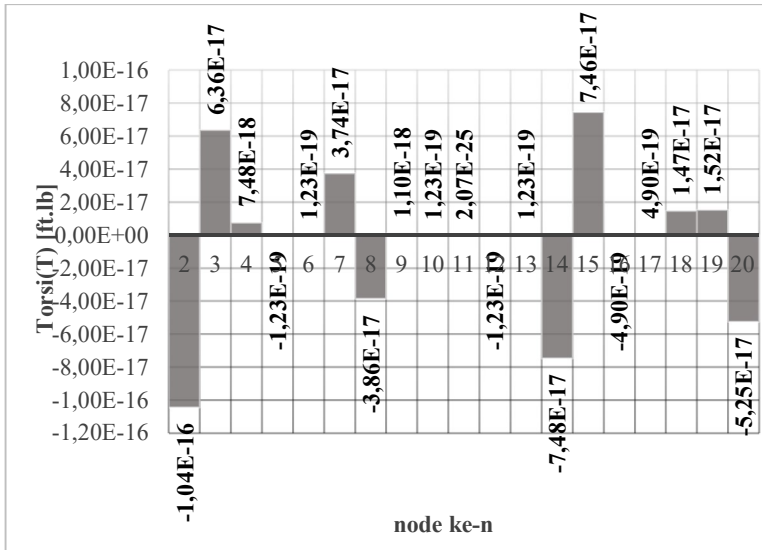


**Gambar 4.52** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan bahan *Steel Cast* pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.51 dan Gambar 4.52 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0995 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00498 rad & 0.00249 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

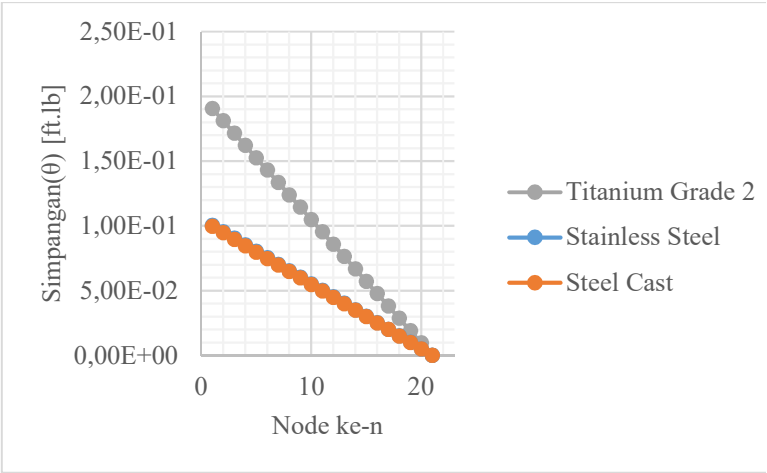


**Gambar 4.53** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan *Steel Cast* pada kondisi *Spudding In*

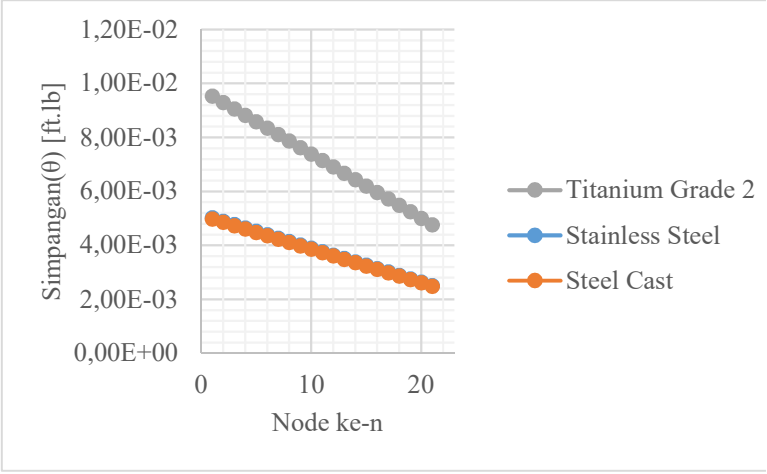


**Gambar 4.54** Reaksi *Drill Pipe* dengan bahan *Steel Cast* pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.53 dan Gambar 4.54 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 9* sebesar  $1.27\text{E-}15\text{ft.lb}$ . Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 1* sebesar  $-1.04\text{E-}16\text{ft.lb}$ .



(a)

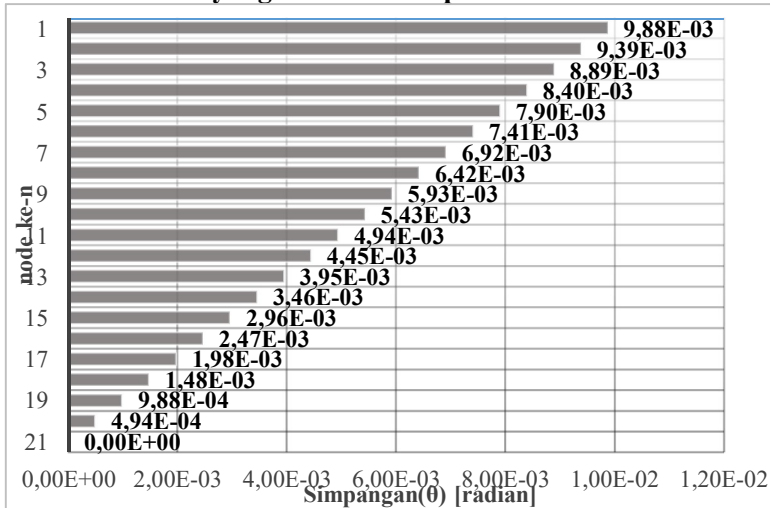


(b)

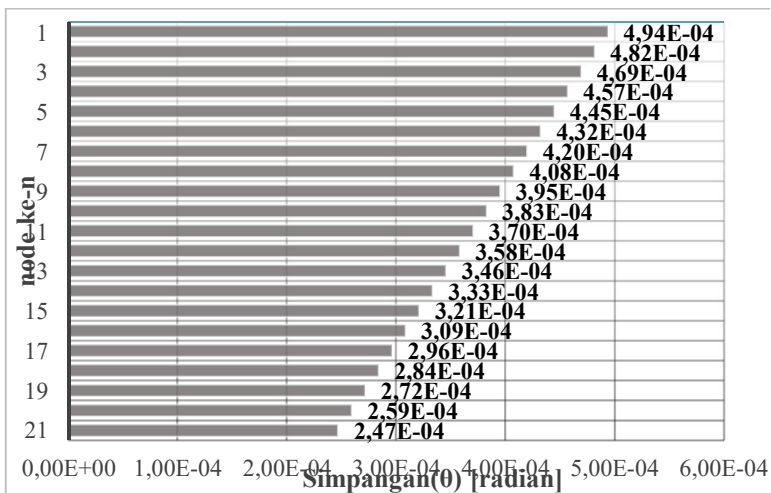
**Gambar 4.55** Perbandingan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan berbagai variasi bahan pada (a) kondisi *Spudding In* (b) kondisi *Drilling*

Dari Gambar 4.55 dapat dilihat variasi jenis bahan *Drill Pipe* yang disimulasikan, respons simpangan terbesar terjadi pada bahan Titanium dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node 7* untuk kondisi *Spudding In* dan *node 2* pada kondisi *Drilling*. Kemudian respons simpangan terkecil terjadi pada bahan *Steel Cast* dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node 9* untuk kondisi *Spudding In* dan *node 1* pada kondisi *Drilling*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin besar Modulus Kekakuan bahan penyusun *Drill Pipe*, maka respons simpangannya akan mengecil.

#### 4.4 Variasi Torsi yang diberikan Top Drive

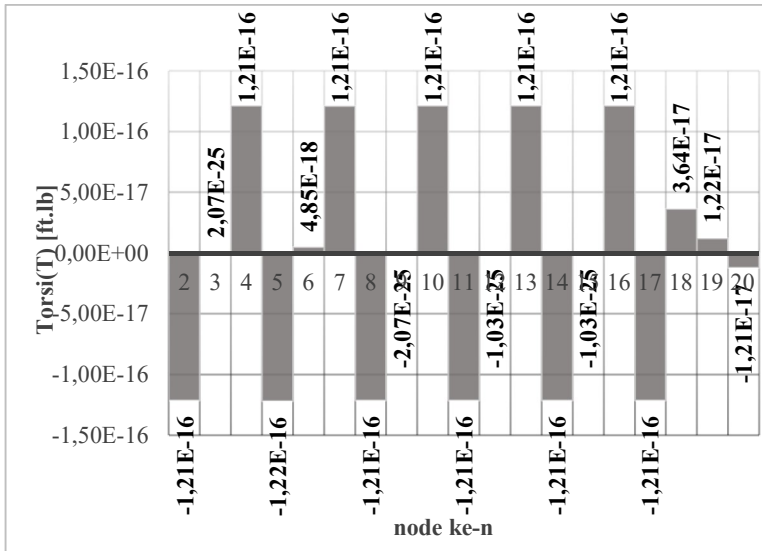


**Gambar 4.56** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 600ft.lb pada kondisi *Spudding In*

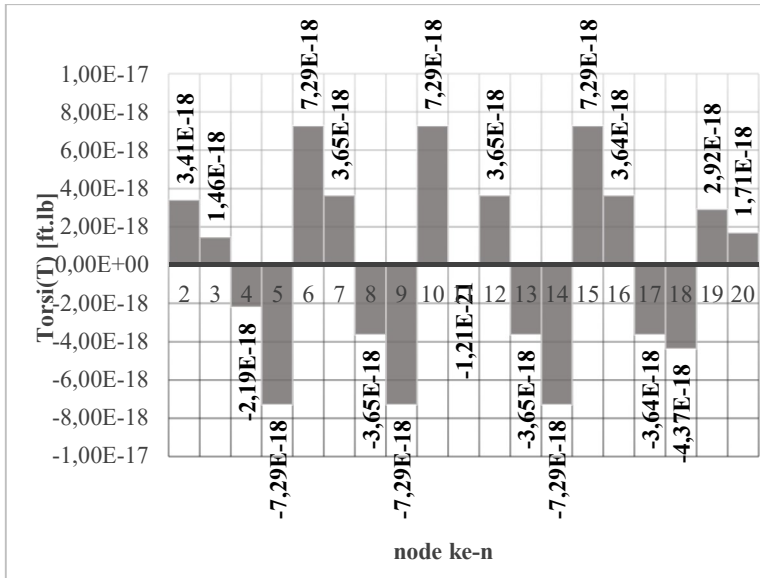


**Gambar 4.57** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 600ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.56 dan Gambar 4.57 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.00988 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.000494 rad & 0.000247 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.



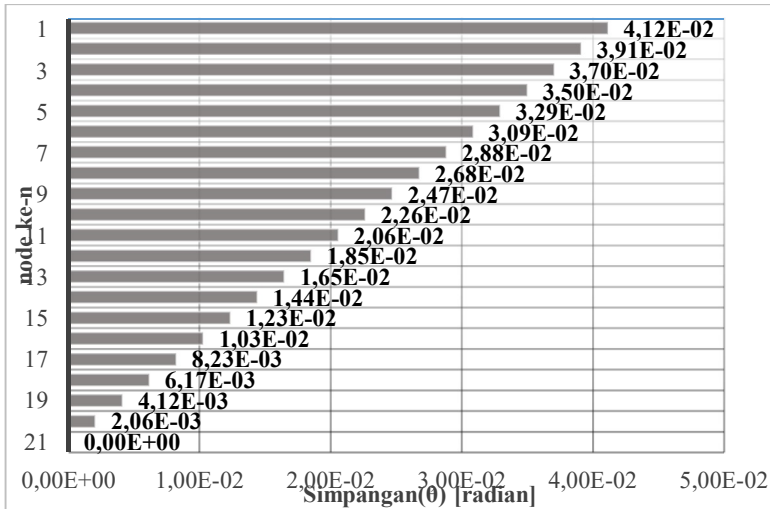
**Gambar 4.58** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 600 ft.lb pada kondisi *Spudding In*



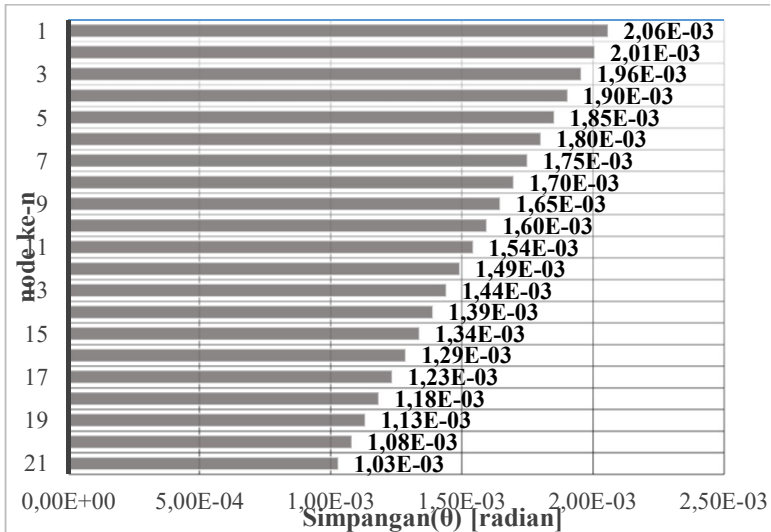
**Gambar 4.59** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 600 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.58 dan Gambar 4.59 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 5* sebesar  $-1.22\text{E-}16$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 10* sebesar  $7.29\text{E-}18$  ft.lb.



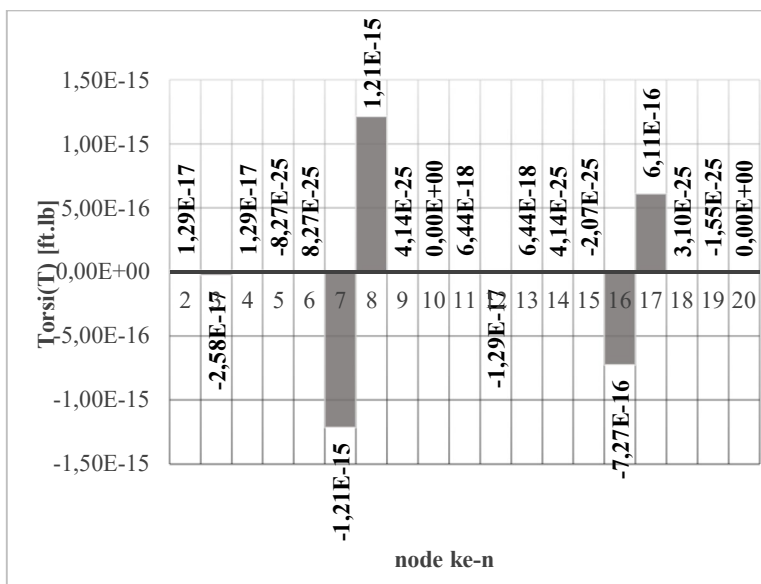


**Gambar 4.60** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

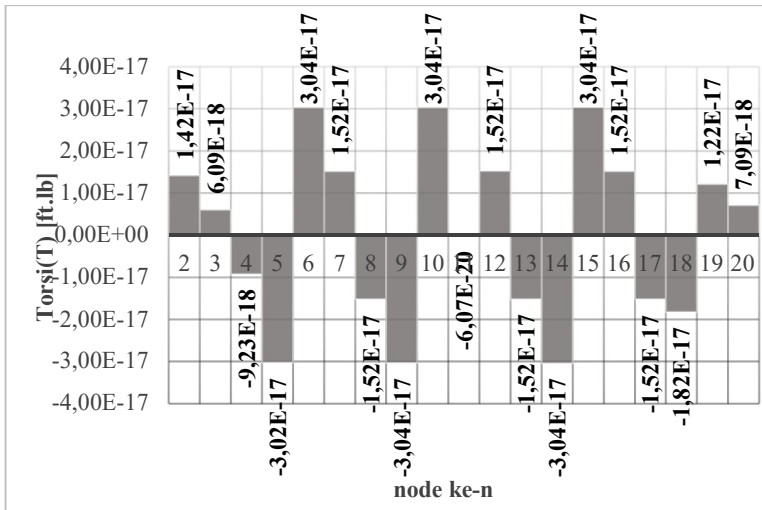


**Gambar 4.61** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.60 dan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi *Spudding In* Gambar 4.61 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0412 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00206 rad & 0.00103 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

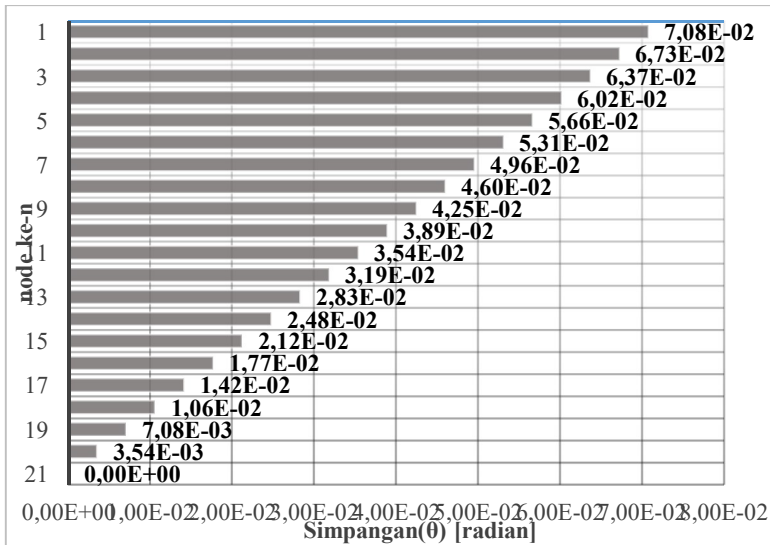


**Gambar 4.62** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

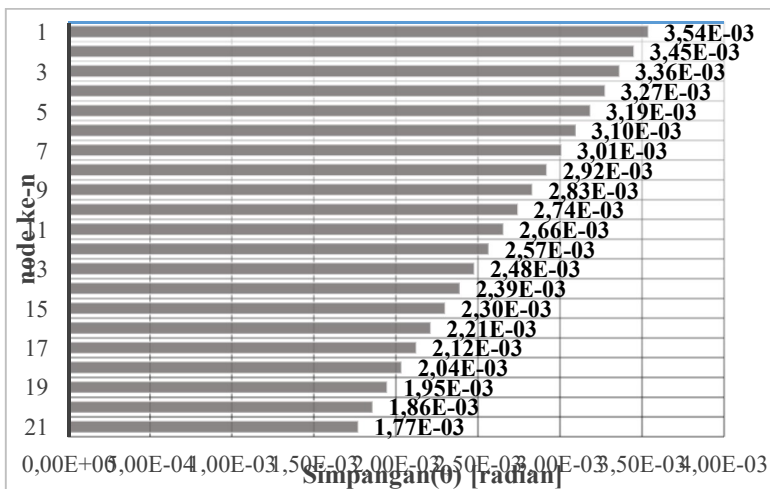


**Gambar 4.63** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 2500 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.62 dan Gambar 4.63 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 8* sebesar 1.21E-15 ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 15* sebesar 3.04E-17 ft.lb.

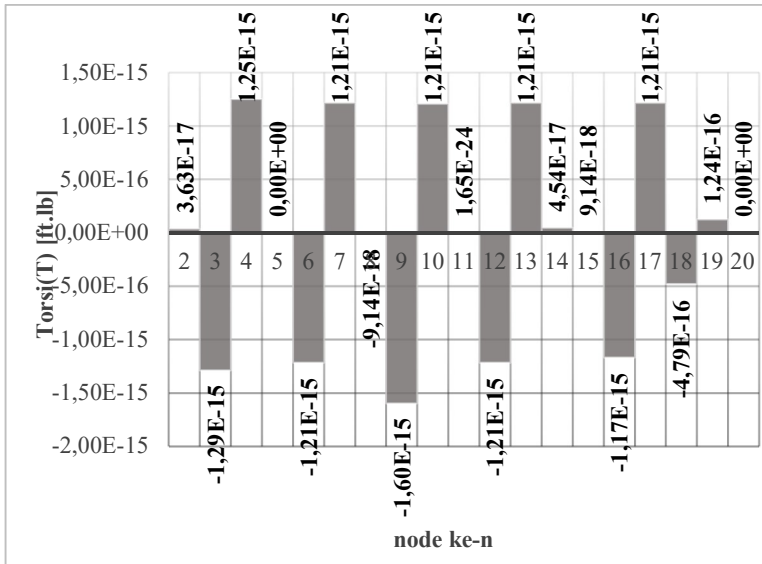


**Gambar 4.64** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

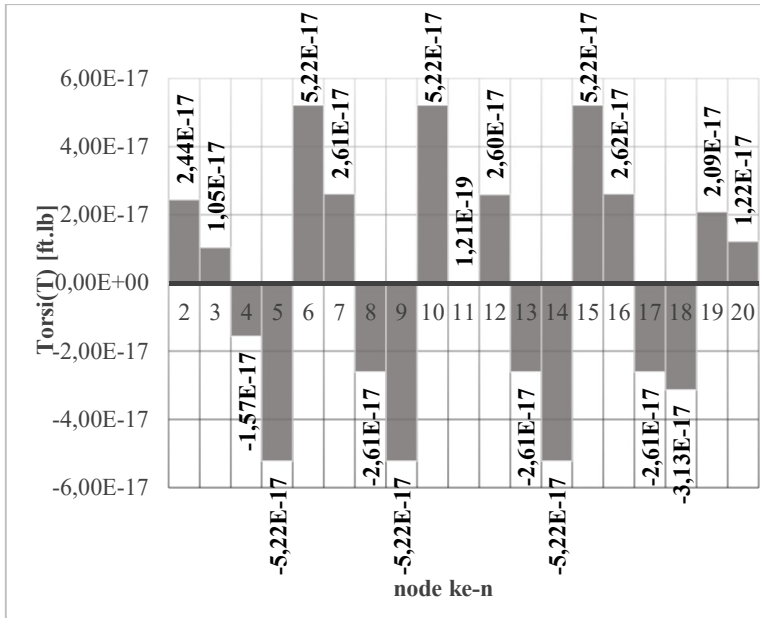


**Gambar 4.65** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.64 dan Gambar 4.65 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0708 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00354 rad & 0.00177 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

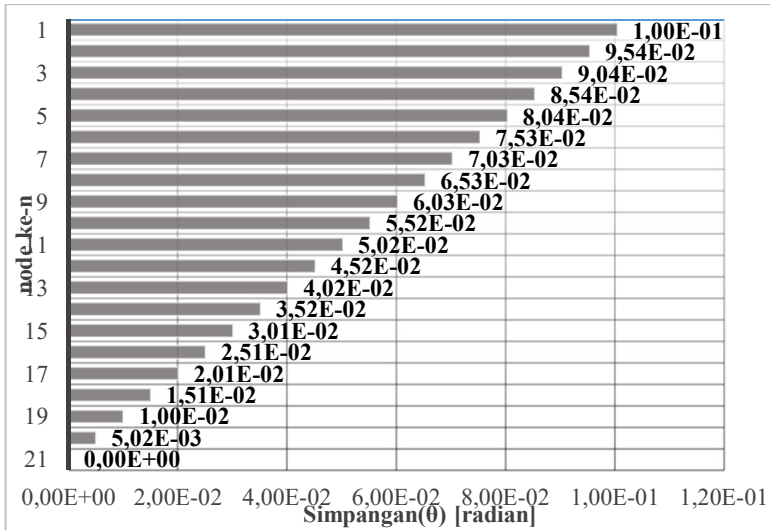


**Gambar 4.66** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

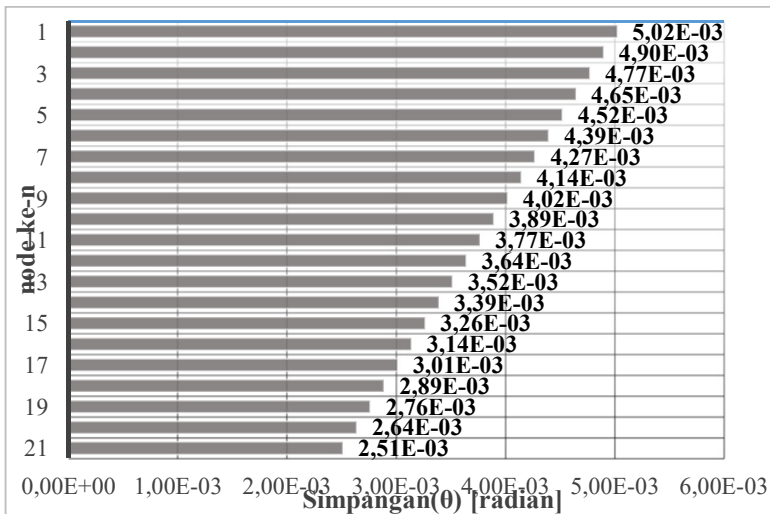


**Gambar 4.67** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 4300 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.66 dan Gambar 4.67 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 9 sebesar -1.60E-15 ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 9&10 sebesar  $\pm 5.22\text{E-}17$  ft.lb.

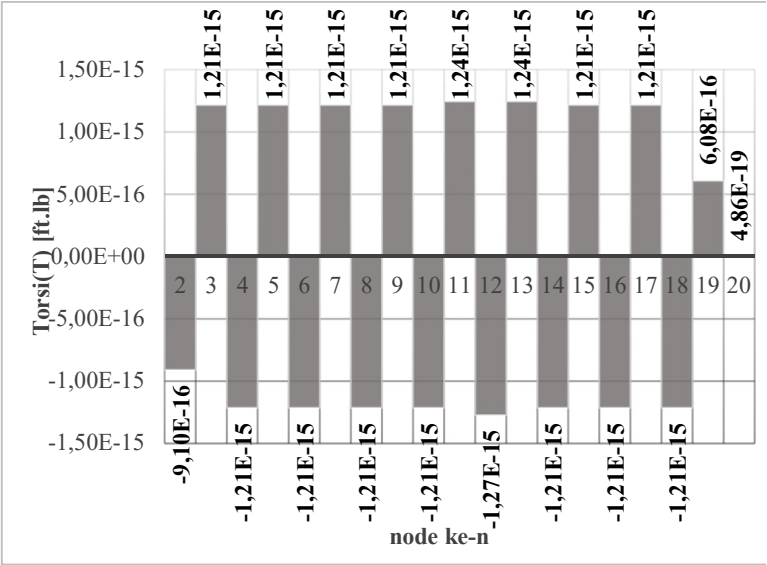


**Gambar 4.68** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi *Spudding In*



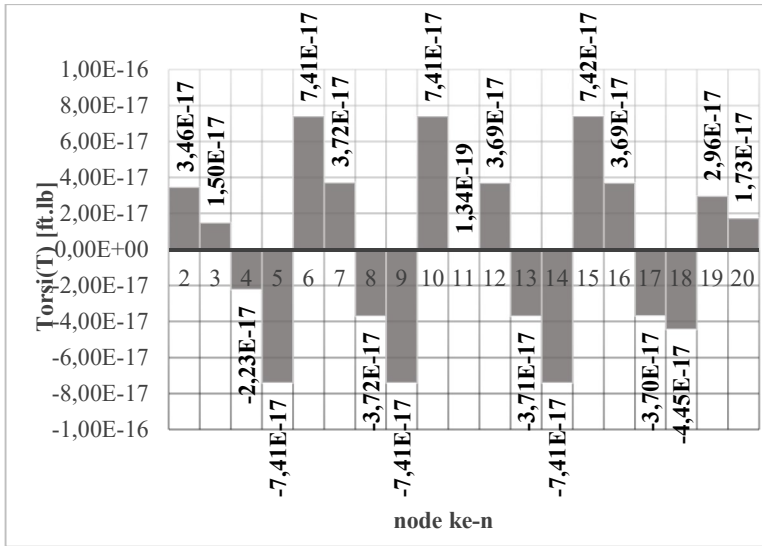
**Gambar 4.69** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.68 dan Gambar 4.69 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.1 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00502 rad & 0.00251 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.



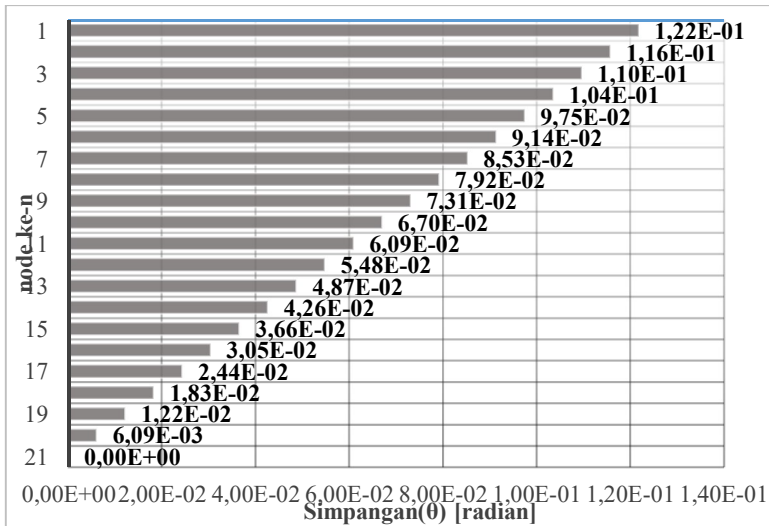
**Gambar 4.70** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi *Spudding In*



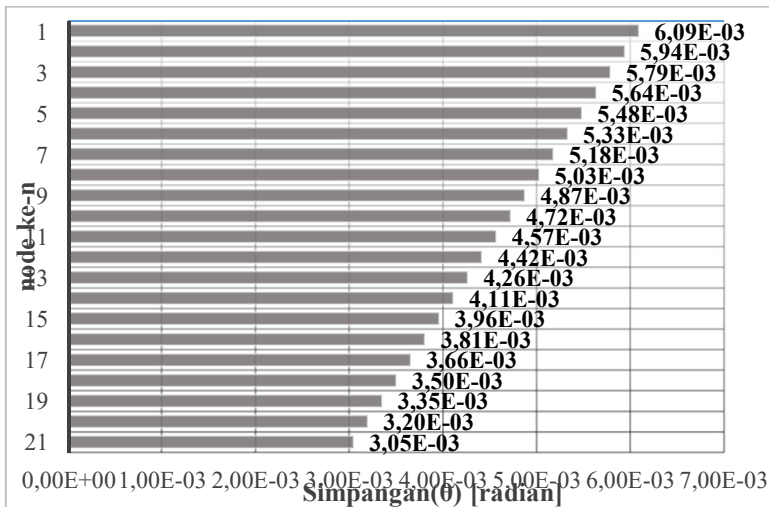


**Gambar 4.71** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 6100 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.70 dan Gambar 4.71 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 12 sebesar  $-1.27\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 15 sebesar  $7.42\text{E-}17$  ft.lb.

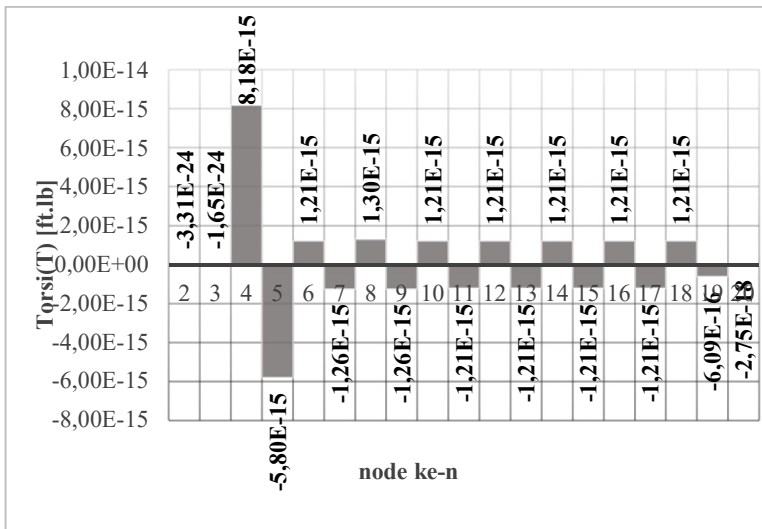


**Gambar 4.72** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

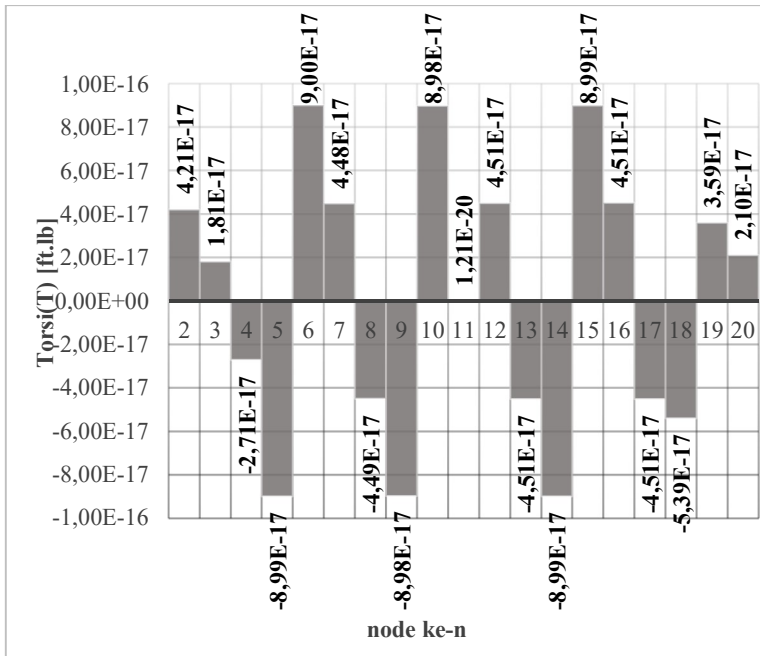


**Gambar 4.73** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.72 dan Gambar 4.73 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.122 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00609 rad & 0.00305 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

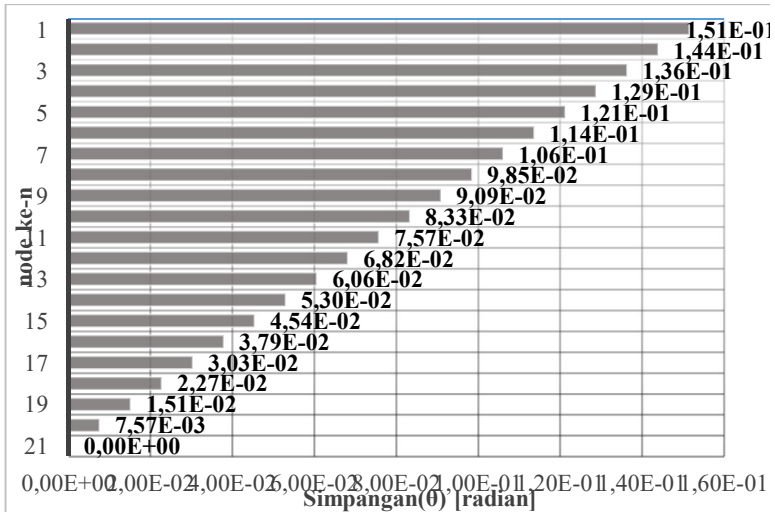


**Gambar 4.74** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

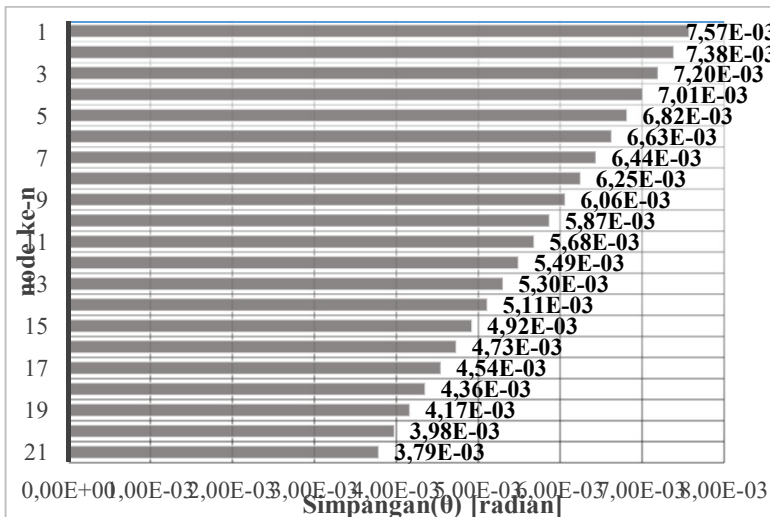


**Gambar 4.75** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 7400 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.74 dan Gambar 4.75 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 4 sebesar 8.18E-15 ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 6 sebesar 9.00E-17 ft.lb.

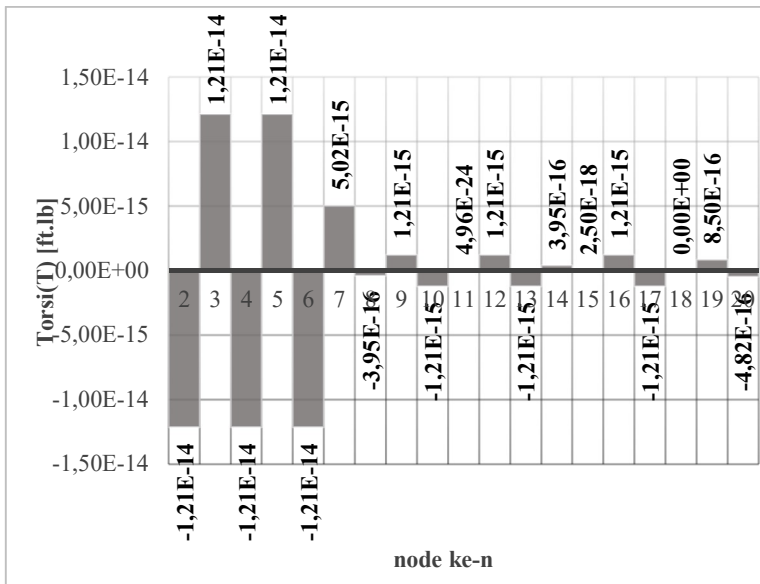


**Gambar 4.76** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

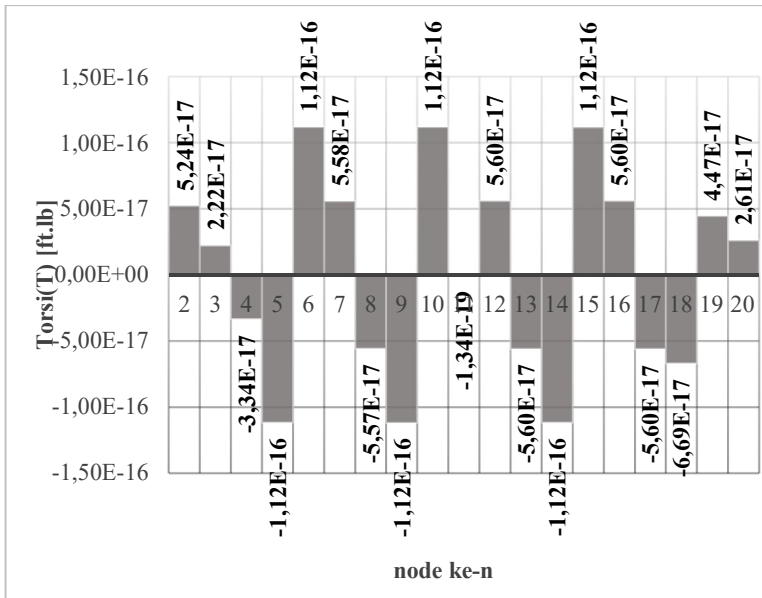


**Gambar 4.77** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.76 dan Gambar 4.77 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.151 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00757 rad & 0.00379 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

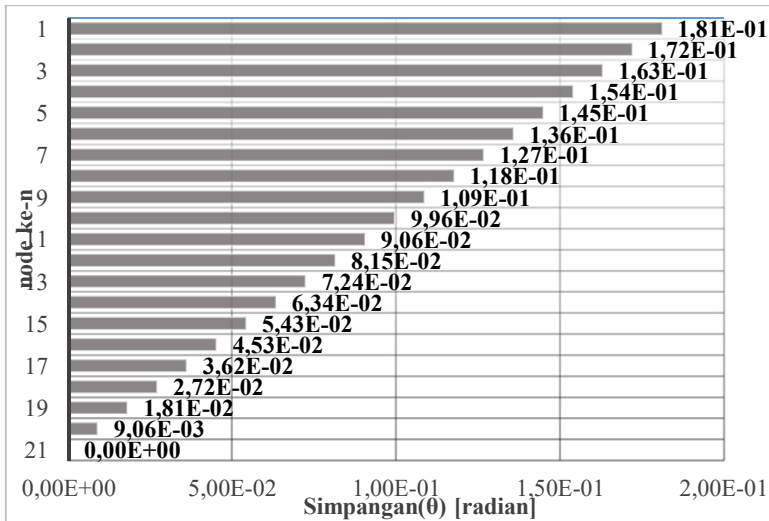


**Gambar 4.78** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

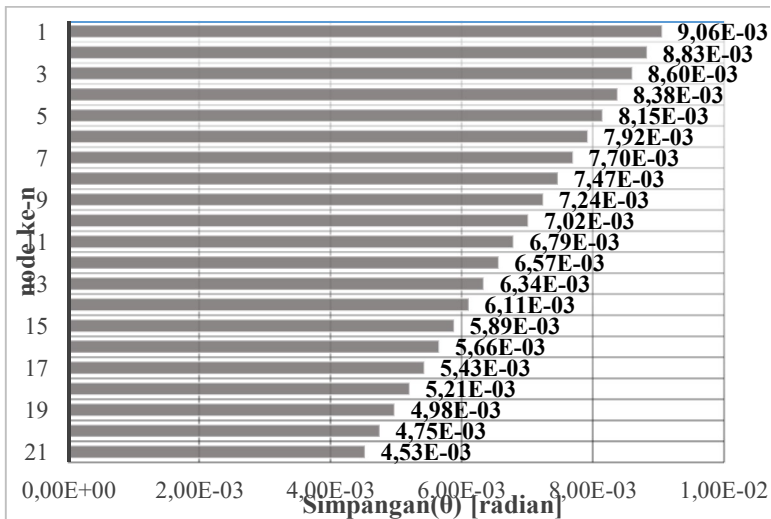


**Gambar 4.79** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 9200 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.78 dan Gambar 4.79 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 2, 5, & 6 sebesar  $\pm 1,214\text{E-}14$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 10 sebesar  $1,12\text{E-}16$  ft.lb.



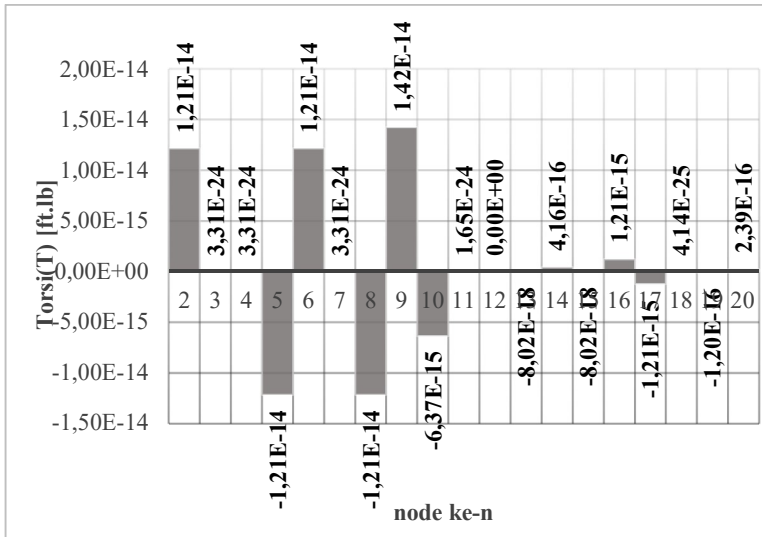
**Gambar 4.80** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi *Spudding In*



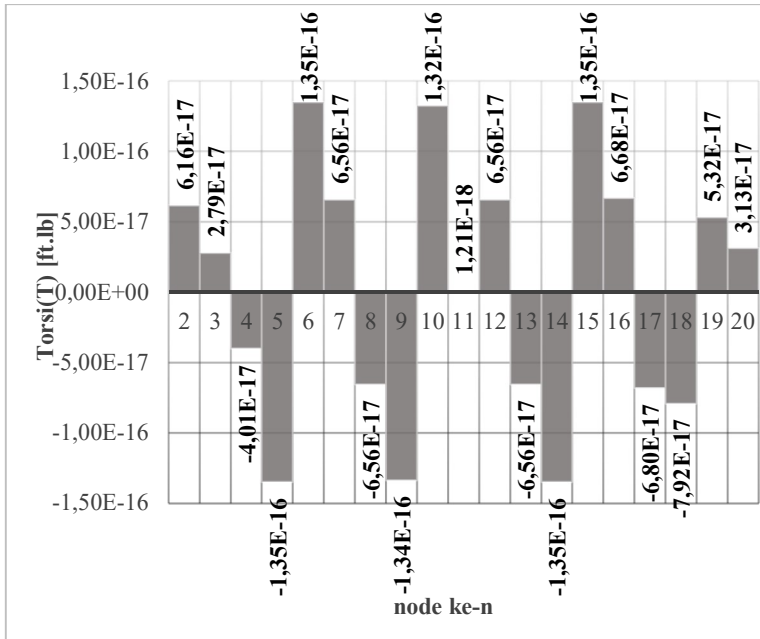
**Gambar 4.81** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi *Drilling*



Gambar 4.80 dan Gambar 4.81 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.181 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00906 rad & 0.00453 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

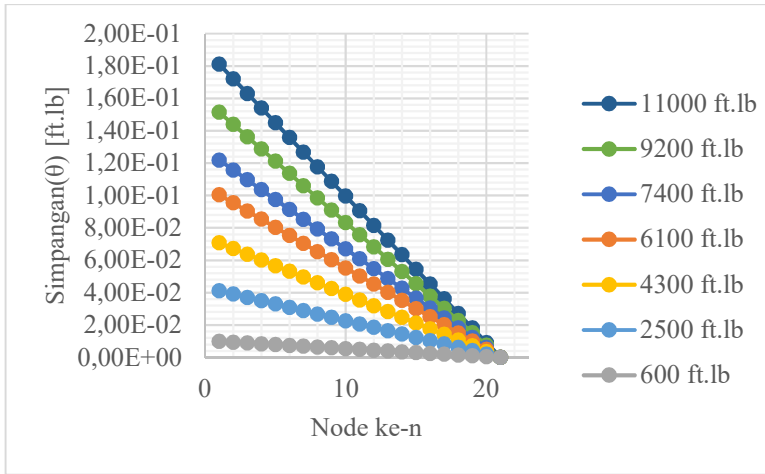


**Gambar 4.82** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi *Spudding In*

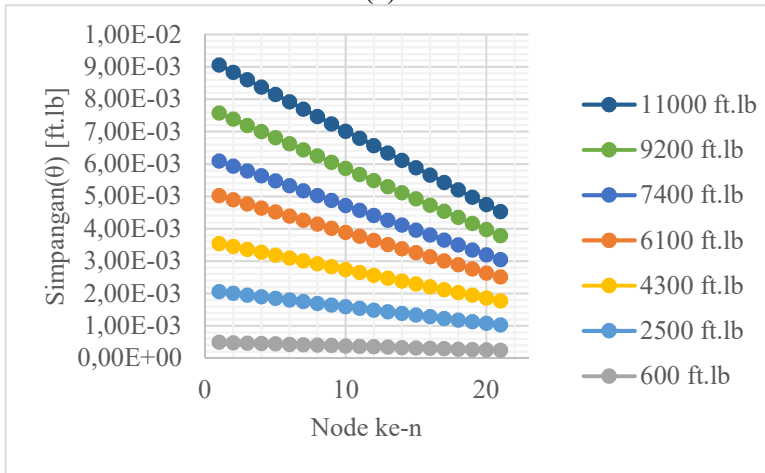


**Gambar 4.83** Reaksi *Drill Pipe* dengan torsi 11000 ft.lb pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.82 dan Gambar 4.83 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 9* sebesar  $1.42\text{E-}14$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 14* sebesar  $-1.35\text{E-}16$  ft.lb.



(a)

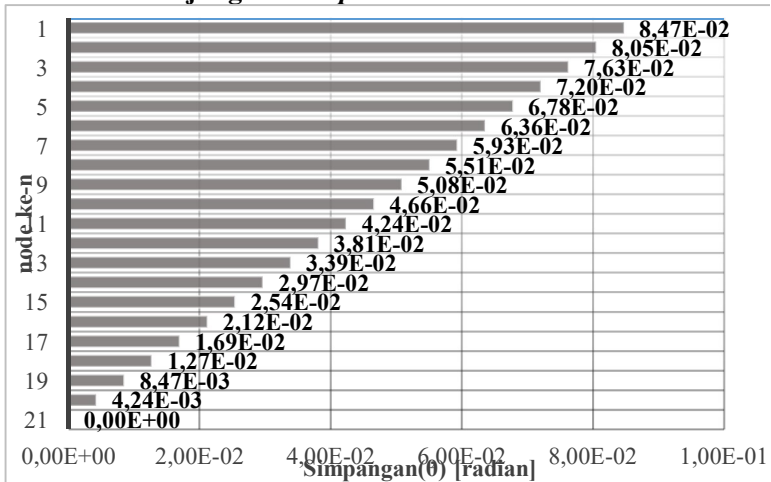


(b)

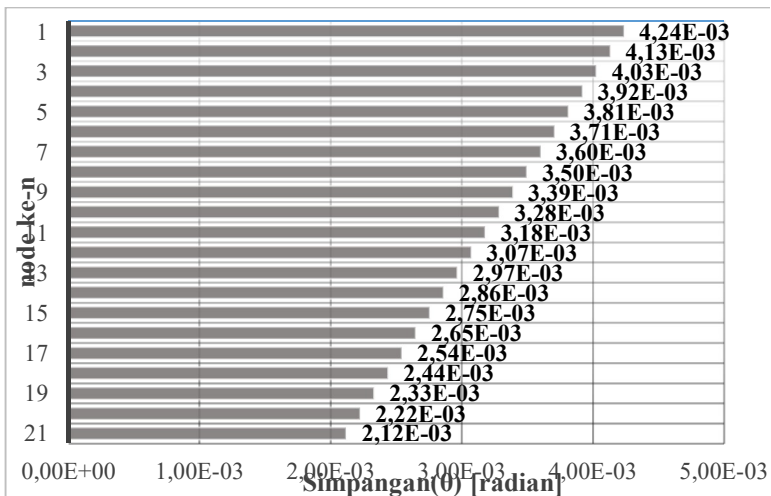
**Gambar 4.84** Perbandingan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan berbagai variasi torsi pada (a) kondisi *Spudding In* (b) kondisi *Drilling*

Dari Gambar 4.84 dapat dilihat variasi besar torsi yang diberikan, respons simpangan terbesar terjadi pada torsi 11000 ft.lb dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 9 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 14 pada kondisi *Drilling*. Kemudian respons simpangan terkecil terjadi pada torsi 600 ft.lb dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 5 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 10 pada kondisi *Drilling*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin besar torsi yang diberikan, maka respons simpangannya akan membesar.

#### 4.5 Variasi Panjang *Drill Pipe*

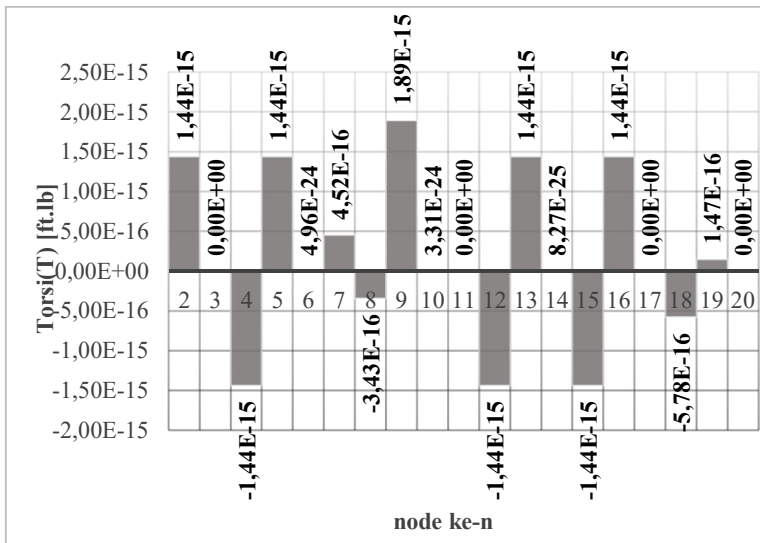


**Gambar 4.85** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 27 ft pada kondisi *Spudding In*

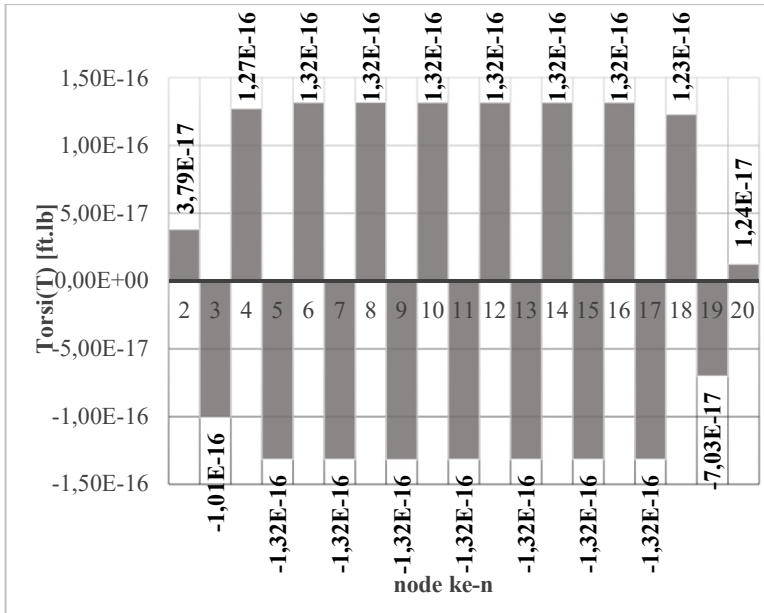


**Gambar 4.86** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 27 ft pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.85 dan Gambar 4.86 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0847 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00424 rad & 0.00212 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

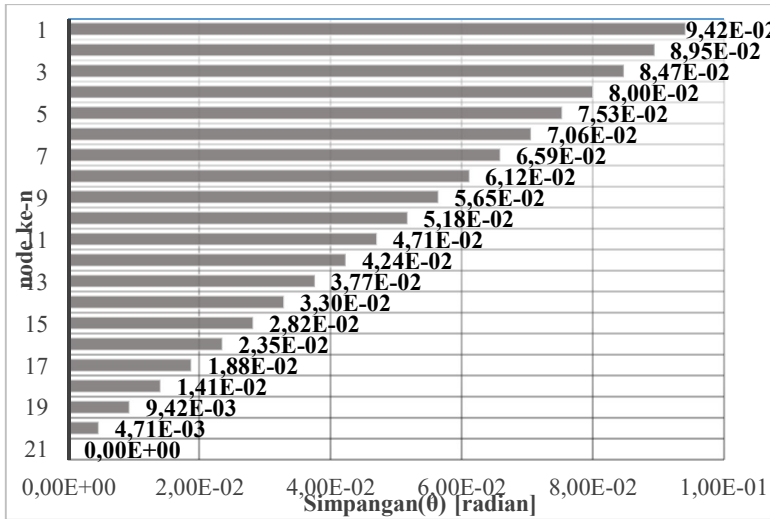


**Gambar 4.87** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 27 ft pada kondisi *Spudding In*

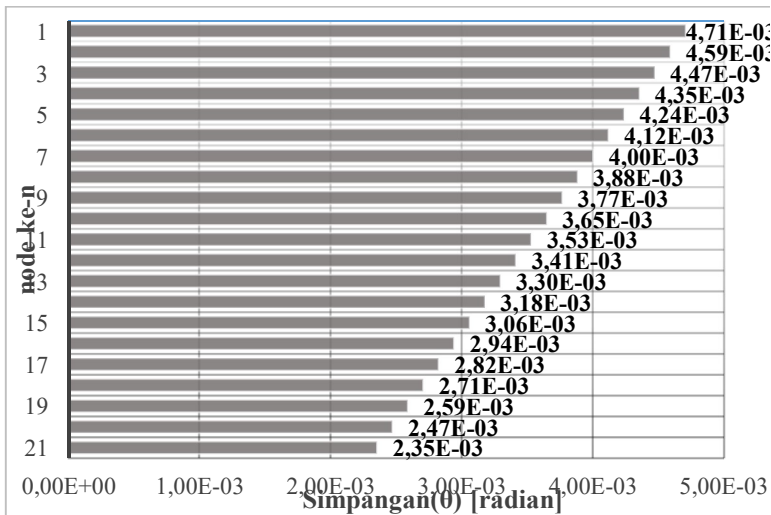


**Gambar 4.88** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 27 ft pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.87 dan Gambar 4.88 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 9 sebesar  $1.89\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 8 sebesar  $1.32\text{E-}16$  ft.lb.



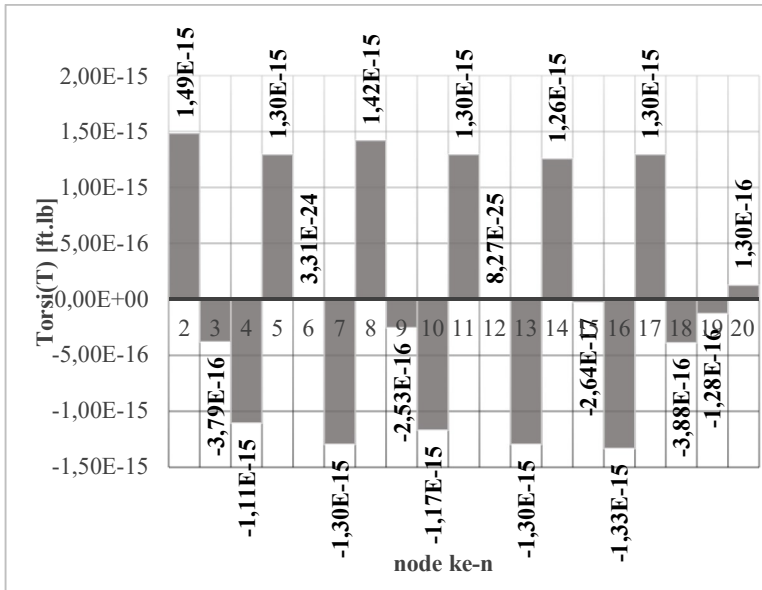
**Gambar 4.89** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 30 ft pada kondisi *Spudding In*



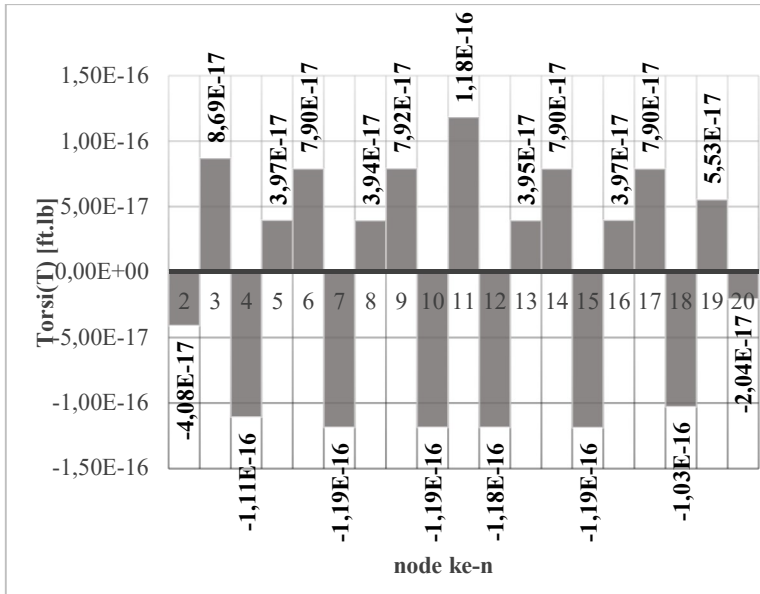
**Gambar 4.90** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 30 ft pada kondisi *Drilling*



Gambar 4.89 dan Gambar 4.90 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.0942 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00471 rad & 0.00235 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

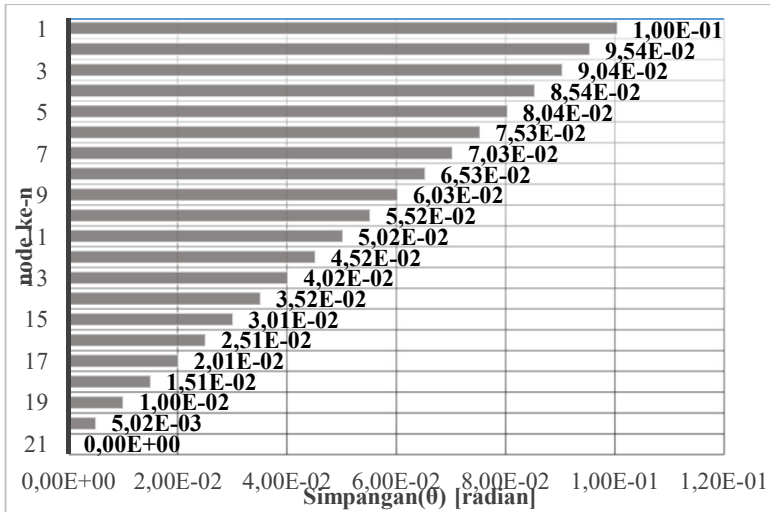


**Gambar 4.91** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 30 ft pada kondisi *Spudding In*

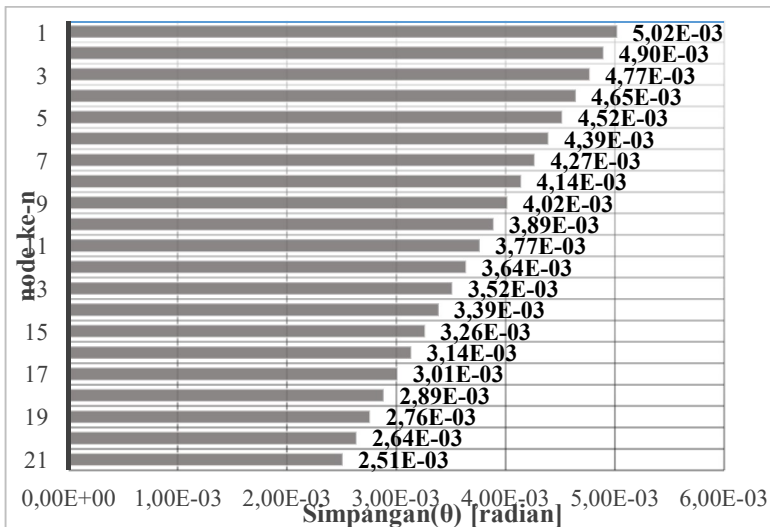


**Gambar 4.92** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 30 ft pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.91 dan Gambar 4.92 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node 2* sebesar  $1.49\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node 15* sebesar  $-1.19\text{E-}16$  ft.lb.

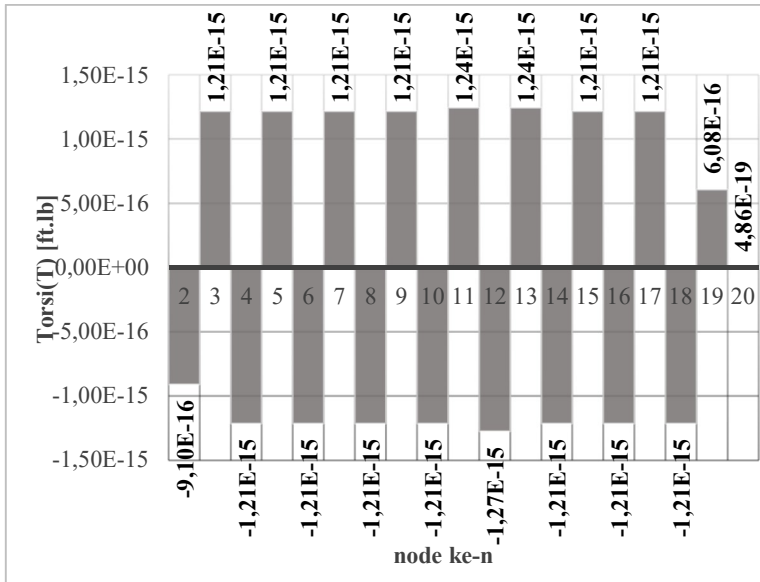


**Gambar 4.93** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 32 ft pada kondisi *Spudding In*

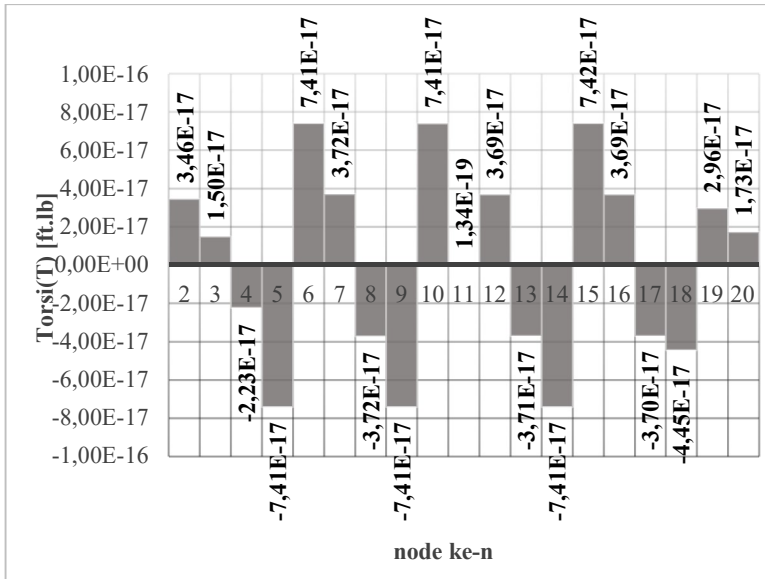


**Gambar 4.94** Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan panjang 32 ft pada kondisi *Drilling*

Gambar 4.93 dan Gambar 4.94 menunjukkan bahwa untuk kedua kondisi, semakin ke bawah, nilai respons simpangan akan semakin mengecil. Simpangan *node* teratas dan terbawah untuk kondisi *Spudding In* sebesar 0.1 rad & 0 rad, sementara untuk kondisi *Drilling* sebesar 0.00502 rad & 0.00251 rad. Dapat dilihat juga bahwa respons simpangan bernilai lebih kecil pada kondisi *Drilling* dibandingkan kondisi *Spudding In*.

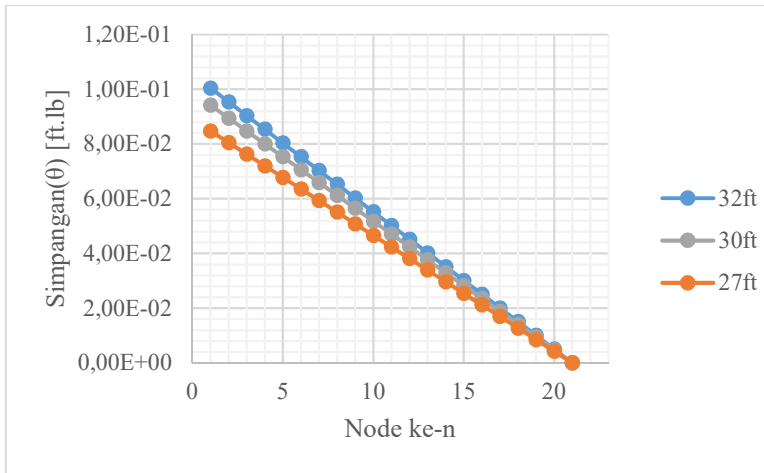


**Gambar 4.95** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 32 ft pada kondisi *Spudding In*

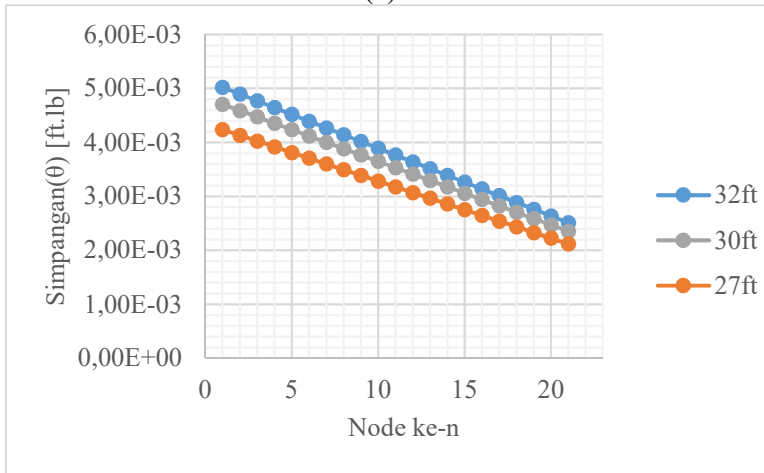


**Gambar 4.96** Reaksi *Drill Pipe* dengan panjang 32 ft pada kondisi *Drilling*

Pada Gambar 4.95 dan Gambar 4.96 dapat dilihat bahwa reaksi sistem untuk kondisi *Spudding In* menunjukkan nilai maksimum pada *node* 12 sebesar  $-1.27\text{E-}15$  ft.lb. Sedangkan nilai maksimum untuk kondisi *Drilling* terdapat pada *node* 15 sebesar  $7.42\text{E-}17$  ft.lb.



(a)



(b)

**Gambar 4.97** Perbandingan Respons Simpangan *Drill Pipe* dengan berbagai variasi panjang *drill pipe* pada (a) kondisi *Spudding In* (b) kondisi *Drilling*

Dari Gambar 4.97 dapat dilihat variasi jenis panjang *Drill Pipe* yang disimulasikan, respons simpangan terbesar terjadi pada panjang 32 ft dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 12 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 15 pada kondisi *Drilling*. Kemudian respons simpangan terkecil terjadi pada panjang 27 ft dengan reaksi sistem terbesar terjadi pada *node* 9 untuk kondisi *Spudding In* dan *node* 8 pada kondisi *Drilling*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin panjang *Drill Pipe*, maka respons simpangannya akan membesar.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan kepada semua pemodelan dan variasi yang dibuat, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Respons simpangan semakin ke bawah akan semakin mengecil berlaku untuk seluruh variasi parameter yang disimulasikan, baik dalam kondisi *Spudding In* maupun *Drilling*.
- Berdasarkan hasil simulasi, urutan variasi parameter yang paling dapat memperkecil respons simpangan adalah diameter *drill pipe*, panjang *drill pipe*,  $\alpha$  ketebalan, dan terakhir jenis bahan.
- Respon simpangan paling kecil di node 1 didapatkan pada variasi diameter *drill pipe* 5,875" sebesar 0,0711 rad pada kondisi *Spudding In* dan sebesar 0,00355 rad pada kondisi *Drilling*.
- Baik Respons simpangan maupun reaksi sistem menunjukkan nilai dengan orde yang sangat kecil sehingga dapat diartikan bahwa pemilihan nilai-nilai parameter sesuai dengan referensi menghasilkan keadaan yang aman bagi *drill pipe* dalam operasi pengeboran
- Penelitian ini dapat digunakan sebagai simulasi bila ingin menggunakan variasi nilai parameter yang tidak tercantum dalam standar sehingga dapat diperoleh respons sistem.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk ke depannya agar penelitian ini lebih menghasilkan hasil yang lebih baik adalah :

- Menghitung kombinasi nilai-nilai parameter untuk mengoptimasi simpangan node.

- Mengikutsertakan pengaruh gangguan air laut dan lumpur sirkulasi sehingga didapatkan simulasi yang semakin mendekati keadaan nyata di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jared Leone. November 2016. *'Jacuzzi of Despair' lake discovered beneath Gulf of Mexico*. 23 Januari 2017.  
<<http://www.springfieldnewsun.com/news/national/jacuzzi-despair-lake-discovered-beneath-gulf-mexico/w2Z93IeBhLh0UzniSPIX9I/>>
- [2] Grant R.S, Texter H.G. 1941. *Causes And Prevention Of Drill-Pipe And Tool-Joint Troubles*. American Petroleum Institute
- [3] Schlumberger. *Oilfield Glossary*. 23 Januari 2017.  
<<http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/t/twist-off.aspx>>
- [4] Syuhada, Gugus. 2014. *Jenis-jenis rig pengeboran offshore*. 6 Januari 2017.<<https://gugussyuhada.com/2014/01/14/jenis-jenis-rig-pengeboran-offshore/>>
- [5] Nipun, 2015. *Difference Between Torque and Torsion*. 23 November 2016. <<http://pediaa.com/difference-between-torque-and-torsion/>>
- [6] Equanalysis UG. *Rotational stiffness ( depended on rigidity modulus of the material)*. 23 November 2016.  
<[http://www.fxsolver.com/browse/formulas/Rotational+stiffness+\(+depended+on++rigidity+modulus+of+the+material\)>](http://www.fxsolver.com/browse/formulas/Rotational+stiffness+(+depended+on++rigidity+modulus+of+the+material)>)>
- [7] Beer, Ferdinand P. 2013. *Vector Mechanics for Engineers*. 10th Edition. New York: McGraw-Hill
- [8] Young, Warren C. 2002. *Roark's Formulas for Stress and Strain*. 7th Edition. New York: McGraw-Hill
- [9] Susatio, Jerri. 2004. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: ANDI.
- [10] National Oilwell Varco . 2015.*Top Drive Solutions*.
- [11] Workstring Internasional. 2016. *PREMIUM DRILL PIPE MECHANICAL PROPERTIES AND SPECIFICATIONS*.18 Oktober 2016. <[http://workstringsinternational.com/equipment/spec\\_sheets/drill\\_pipe/](http://workstringsinternational.com/equipment/spec_sheets/drill_pipe/)>
- [12] Anonim. *Modulus of Rigidity*. 18 Oktober 2016 .  
<[http://www.engineeringtoolbox.com/modulus-rigidity-d\\_946.html](http://www.engineeringtoolbox.com/modulus-rigidity-d_946.html)>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Dery Herwandinata dilahirkan di Bandung pada tanggal 25 Februari 1991. Pendidikan formal terakhir ditempuh di Politeknik Negeri Bandung Program Studi Teknik Elektronika dan lulus pada tahun 2012. Selama masa sekolah dan perkuliahan penulis aktif di banyak organisasi intra sekolah dan kampus. Setelah lulus program Diploma 3, penulis kemudian bekerja di Schlumberger sebagai Field Specialist dengan penempatan di Indonesia. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan meneruskan jenjang pendidikan Strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Fisika dan mengambil Tugas Akhir pada bidang Vibrasi dan Akustik. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik di [dery.herwandinata@gmail.com](mailto:dery.herwandinata@gmail.com).

